DIE NATURWISSENSCHAFTEN

30. Jahrgang | 20. Februar 1942 | Heft 8

Über die Bildung und Aktivierung des Wuchsstoffes in den höheren Pflanzen[1]).

Von HERMANN v. GUTTENBERG, Rostock.

Daß es Wuchsstoffe gibt, wurde zum ersten Male klar, als im Laboratorium WILHELM PFEFFERS Versuche über die tropistische Reizleitung ausgeführt wurden. BOYSEN-JENSEN und später PAÁL fanden hier, daß das, was man bisher Reizleitung nannte, nichts anderes war als der Transport einer das Streckungswachstum bewirkenden oder ermöglichenden Substanz. Diese Substanz, die wir heute als *Auxin* bezeichnen, wurde später von F. W. WENT als Diffusat und von THIMANN als Extrakt aus Pflanzen gewonnen, und schließlich hat KÖGL die chemische Konstitution des Stoffes, den er aus Harn in größerer Menge gewann, geklärt. In den Pflanzen kommt der Stoff in solcher Verdünnung vor, daß es aussichtlos schien, ihn in einer Menge zu gewinnen, die für die chemische Analyse ausreicht. Es besteht indessen kein Grund, an der Identität des Harnauxins und des Pflanzenauxins zu zweifeln.

Da Auxin als Substanz nur in verschwindender Menge zur Verfügung steht, wird heute ganz allgemein die β-Indolylessigsäure, das sog. *Heteroauxin*, zu Versuchen verwendet. Diesen Stoff hatte erst NIELSEN in Pilzkulturen gefunden und als „Rhizopin" bezeichnet, später gewann ihn KÖGL aus Harn, und er ist heute im Handel erhältlich. Die β-Indolylessigsäure ist ein Abbauprodukt des Tryptophans und chemisch vom echten Auxin, das eine einbasische Fettsäure ist, völlig verschieden. Trotzdem ist die Wirkung des Heteroauxins praktisch die gleiche wie die des Auxins, und das ist deshalb besonders überraschend, weil das Auxin nicht nur das Streckungswachstum reguliert, sondern in eine ganze Reihe von Entwicklungsprozessen eingreift. So wurde es üblich, das Heteroauxin als Wuchsstoff zu bezeichnen, ja manche amerikanischen Autoren gehen so weit, auch dann von Auxin zu sprechen, wenn sie Heteroauxin meinen, was unter allen Umständen abzulehnen ist. Besonders die Mitarbeiter des Boyce-Thompson-Institutes fanden dann noch eine ganze Reihe organischer Stoffe, die mehr oder weniger auxinähnliche Wirkung haben, und sie bezeichneten sie als Phytohormone. Es fehlt aber bis heute jeder Beweis dafür, daß sie es wirklich sind. Denn es gibt für ihre Wirkung noch eine andere Erklärungsmöglichkeit, von der ich am Schlusse meiner Ausführungen sprechen werde.

Wie schon erwähnt, reguliert der Wuchsstoff das Streckungswachstum der Pflanze. Dieses kommt sofort zum Stillstand, wenn man dem Organ seine Auxinquelle nimmt. Technisch ist dies leicht durchzuführen, da das Auxin vielfach in den Organspitzen produziert wird. Werden solche Organe, z. B. die Keimblattscheiden oder Koleoptilen der Gräser, dekapitiert, so erlischt das Längenwachstum. Setzt man aber die Spitze wieder auf oder führt man der Schnittfläche künstlich Wuchsstoff wieder zu, so beginnt das Wachstum von neuem.

Die Wuchsstoffquelle vieler wachsender Organe liegt, wie erwähnt, in ihrer Spitzenregion. Bei Behandlung der Frage von der Entstehung des Wuchsstoffes gehen wir aber besser vom Samen aus. Daß alle Samen Wuchsstoff enthalten, wurde vielfach gezeigt, in größerer Menge ist er aus ihnen aber erst bei der Keimung zu gewinnen. Das weist darauf hin, daß er im ruhenden trockenen Samen in einer unwirksamen Form, als Vorstufe oder, wie heute oft gesagt wird, als *Proauxin* vorliegt. Bei den Dikotylen sind zunächst das Endosperm oder die Kotyledonen die Wuchsstoffbehälter. Aus ihnen bezieht der Keimling seinen Wuchsstoff. Da nun bekannt ist, daß der Wuchsstoff streng polar, und zwar zur Organbasis, wandert, ist zunächst nicht zu verstehen wie die über den Kotyledonen liegenden Teile, also das Epikotyl mit seiner Knospe, ihren Wuchsstoff erhalten. Das gleiche gilt aber auch für die Wurzel, denn auch in dieser wandert das Auxin nur von der Spitze zur Basis. Noch auffälliger liegen die Dinge bei den Monokotylen, vor allem bei den Gräsern. Bei diesen werden alle Stoffe des Endosperms vom Skutellum aufgenommen, mit dem der Keimling dem Endosperm aufsitzt. Dieses Endosperm besitzt bei der Keimung reichlich Wuchsstoff, später findet sich dieser aber streng lokalisiert in der Koleoptilspitze. Als solcher steigt der Wuchsstoff sicher nicht auf, er konnte niemals aus apikalen Schnittflächen abgefangen werden, sondern nur aus zur Basis gekehrten. Trotzdem muß der Stoff in irgendeiner Form hochsteigen, denn POHL zeigte, daß die Koleoptilenspitze ihre Wuchsstoffproduktion einstellt, wenn man dem Endosperm den Wuchsstoff entzieht. Versorgt man dieses dann wieder mit Auxin, so beginnt das Wachstum der Koleoptile von neuem. Wir müssen also in diesen Fällen annehmen, daß der Wuchsstoff in eine unwirksame Form rückverwandelt wird und daß diese Vorstufe sich unpolar ausbreiten kann. Wir finden somit eine wiederholte Wuchsstoffwandlung bei der Keimung. Diese vollzieht sich nicht überall, sondern nur in gewissen Gewebepartien, und es steht außer Zweifel, daß für sie ein weiterer Stoff notwendig ist, den wir als *Aktivator* bezeichnen wollen. Voss will im Skutellum neben aktivem auch inaktives Auxin nachgewiesen haben. Bringt man näm-

[1]) Vortrag, gehalten bei der Arbeitstagung „Allgemeine Biologie", Berlin 21. Oktober 1941.

lich Skutellumstückchen auf dekapitierte *Avena*-Koleoptilen, so kommt es zunächst zu keinem Wachstum, ein solches tritt aber nach 3 Stunden auf. Voss glaubt dies so erklären zu können, daß Proauxin in die Koleoptile eingedrungen ist und aktiviert wird, sobald die Spitze physiologisch regeneriert wurde. Klarer ist ein Versuch von SKOOG. Er fängt Stoffe aus oberen Schnittflächen von Koleoptilen ab und testet sie auf anderen. Dabei ergibt sich eine negative Krümmung nach 6 Stunden, also etwa 4—5 Stunden später als bei Gegenwart von Auxin. Auch dies spricht dafür, daß einwanderndes Proauxin später in Auxin verwandelt wurde. Voss und auch POHL bilden sich auf Grund ihrer Versuche folgende Vorstellung: Das aktive Auxin des Endosperms wird im Skutellum in inaktives verwandelt. Dieses breitet sich unpolar im ganzen Keimling aus und wird dann in der Koleoptilenspitze wieder aktiviert. FERMAN nimmt Entsprechendes für Dikotylenkeimlinge an. Auch Versuche von BENNETT und SKOOG passen gut in diesen Rahmen. Man weiß besonders durch Versuche von ZIMMERMANN und SÖDING, daß Laubknospen im Winter kein oder nur wenig aktives Auxin enthalten, daß solches aber reichlich bei der Knospenschwellung im Frühjahr auftritt. Da eine Einwanderung von Wuchsstoff zu dieser Zeit nachweislich nicht stattfindet, muß auch hier inaktives Auxin in aktives verwandelt worden sein. BENNETT und SKOOG gewannen nun aus künstlich kalt gehaltenen Knospen einen Stoff, der auf *Avena* getestet die gleiche um Stunden verzögerte Wirkung aufweist. Umgekehrt ist zur Knospen- und Samenbildung aktives Auxin erforderlich, das während der Ruheperiode inaktiviert wird. Ein sehr bekannter Fall von Wuchsstoffaktivierung ist ferner folgender: Die Knoten der Grashalme stellen frühzeitig ihr Wachstum ein und zeigen dann keinen Wuchsstoffgehalt mehr. Legt man sie aber horizontal, so beginnen sie zu wachsen, und sie enthalten jetzt Wuchsstoff. Hier löst also die Schwerkraft die Wuchsstoffaktivierung aus, unter ihrem Einfluß muß ein Aktivator entstehen, der die Umwandlung Proauxin-Auxin vollzieht.

Wiederholt wurde gezeigt, daß Sprosse, an denen man einen Wuchsstoffpastenring anbringt, über der Ringzone ihr Wachstum einstellen. Nach SNOW geschieht dies nur dann, wenn sich unterhalb des Ringes noch Blätter befinden. Aus diesen steigt also offenbar ein Stoff hoch, der zur Wuchsstoffbildung oder Aktivierung im Spitzenteil notwendig ist und der an der Ringzone festgehalten oder verbraucht wird. Es könnte das entweder Proauxin oder ein Aktivator sein. POHL zeigte für Koleoptilen, daß das Proauxin anscheinend nicht festgehalten wird. So bliebe die Annahme der Festhaltung eines Aktivators über. Stellen starker Wuchsstoffbildung sind offenbar Attraktionszentren für die verschiedensten Stoffe, Baustoffe sowohl als auch Wirkstoffe. Das geht aus einer Reihe von Arbeiten hervor. Wo Wuchsstoffzentren wegfallen, entwickeln sich andere Teile, so die Seitenknospen nach Entfernung der Gipfelknospe, oder auch, wie ALBAUM zeigte, ältere Prothalliumteile nach Entfernung des Meristems. Die ganze Harmonie der Baumgestalt hängt, wie aus MÜNCHS Studien hervorgeht, davon ab, daß die Gipfelknospen Attraktionszentren für Wuchsstoff und andere Substanzen sind. Darum kann man in allen diesen Fällen die verlorene Organspitze in ihrer Wirkung durch Wuchsstoffgaben ersetzen. Viele Autoren nehmen zur Erklärung dieser Phänomene zusätzlich Hemmstoffe an, was mir in diesem Zusammenhang überflüssig scheint.

In der fertigen Pflanze sind, worauf besonders AVERY hinwies, die Laubknospen und die jüngeren Blätter die Wuchsstoffbildner und damit die primäre Quelle des Wuchsstoffes. Die Produktion erfolgt nur nach Beleuchtung, so daß ein Zusammenhang mit der Assimilation oder ihren Produkten gegeben ist. Daß Beziehungen zu Zuckern bestehen, geht aus neuen Arbeiten von ZHDANOVA, MOUREAU und LAIBACH hervor. So konnte ZHDANOVA zeigen, daß verdunkelte Blätter Auxin zu produzieren vermögen, wenn sie mit Zuckern versorgt werden, und LAIBACH fand, daß Gurkenkotyledonen am reichlichsten Wuchsstoff abgeben, wenn sie nach erfolgter Assimilation verdunkelt werden, also dann, wenn Stärke zu Zucker abgebaut wird. Auch Einspritzen gewisser Zucker in die Kotyledonen fördert die Wuchsstoffbildung. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, daß nach MITCHELL und WHITEHEAD das Heteroauxin den Stärkeabbau in den Blättern fördert und nach BORGSTRÖM auch die Stärke der Wurzelhaube durch dieses aufgelöst wird. Schließlich fand HOCHSTATTER bei Äthylenbehandlung eine Zuckerzunahme, die wohl auch vom Stärkeabbau stammt. Hier ergeben sich auch Beziehungen zur Statholithentheorie. Koleoptil- und Wurzelspitze, Grasknoten und Stärkescheide sind Wuchsstoffproduktionsorte und enthalten bewegliche Stärke. Könnte nicht einseitig gelagerte Stärke zu einseitiger Wuchsstoffproduktion führen, etwa dadurch, daß ein Aktivator bevorzugt an den unteren Längswänden entlangwandert oder sich aktivierbares Material dort ansammelt? HABERLANDT hat schon vor einigen Jahren einen ähnlichen Gedanken ausgesprochen. Tatsächlich fanden METZNER und FRIEDRICH auf der Unterseite geotrop gereizter Organe eine Vermehrung reduzierender Zucker. Diese dürften aus Stärkeabbau stammen. Der Gedanke einer Diastaseaktivierung liegt nahe, war aber bisher nicht zu beweisen. Andererseits weiß man aber schon lange, daß Diastasepräparate das Wachstum fördern können.

Überblicken wir das Ganze, so sehen wir, daß noch viele Probleme ungelöst sind. Das eine aber ist sicher: Die Bildung und Umformung des Wuchsstoffes ist ein äußerst komplizierter Vorgang. Kann man da wirklich noch annehmen, daß chemisch völlig verschiedene Stoffe, so vor allem das Heteroauxin, gleiche Wirkung haben? Tatsächlich sind im Laufe der Zeit Fälle bekannt

geworden, wo das Heteroauxin das Auxin nicht zu ersetzen vermag. So zeigten z. B. POHL und VOSS, daß man wuchsstofffreie Graskeimlinge wohl erfolgreich mit Auxin, nicht aber mit Heteroauxin füttern kann, KONINGSBERGER bemerkte Unterschiede bei der Wirkung auf vorbelichtete, FUNKE auf verdunkelte Koleoptilen, FRIEDRICH bei der Zuckerbildung. LEONIAN und LILLY äußerten Bedenken an der Wuchsstoffnatur des Heteroauxins, ohne aber hierfür Beweise zu erbringen. Am auffälligsten ist schließlich eine Beobachtung von GAUTHERET. Er kultivierte isolierte Wurzelhaubenzellen der Lupine in Nährlösungen. Sie vergrößerten sich dabei nicht, auch nicht bei Zugabe von Heteroauxin. Wird aber die Wurzelspitze mit in die Nährlösung gebracht, so wachsen die Haubenzellen und Heteroauxinzusatz steigert jetzt das Wachstum. Die Wurzelspitze läßt also einen Stoff austreten, der vorhanden sein muß, wenn Heteroauxin wirken soll. Danach kann aber das Heteroauxin kein eigentlicher Wuchsstoff sein. Für das Äthylen geht schon aus den Arbeiten von MICHENER und BORGSTRÖM hervor, daß es kein Wuchsstoff ist, sondern nur die normale Auxinverteilung stört. Denn es wirkt nur, wenn Auxin vorhanden ist. So wirkt es z. B. auf Erbsenkeimlinge nur dann, wenn die wuchsstoffliefernde Plumula vorhanden ist, nicht aber, wenn man diese entfernt. Dann kann der Effekt durch künstliche Wuchsstoffgaben wieder erreicht werden. GUTHRIE fand sogar, daß der Wuchsstoffgehalt von Kartoffeln bei Behandlung mit Äthylenchlorhydrin steigt.

Ich vermutete nun schon lange, daß das Heteroauxin und die vielen anderen künstlichen Wuchsstoffe diesen Namen nicht verdienen, sondern nur Substanzen sind, die die Wuchsstoffbildung anregen oder die Wuchsstoffverteilung beeinflussen. Die Wirkung des Heteroauxins und der ihm homologen Stoffe läßt sich von vornherein auch anders erklären, als dies bisher geschehen ist. Wenn sich nämlich zeigen ließe, daß Heteroauxin ein Aktivator für Wuchsstoff ist, so sind alle bisherigen Ergebnisse ebenso verständlich, wie wenn das Heteroauxin selbst ein Wuchsstoff wäre. Eine Beweismöglichkeit liegt darin, daß Auxin und Heteroauxin gegenüber Laugen und Säuren eine verschiedene Beständigkeit zeigen. Auxin wird durch Laugen zerstört und ist säurefest, das Heteroauxin verhält sich umgekehrt. Ich regte daraufhin einige Versuche an, die Herr DETTWEILER in meinem Institut durchführt. Leider mußte die Arbeit aus Kriegsgründen eine Zeitlang unterbrochen werden, doch liegen bereits Ergebnisse vor, die eine prinzipielle Entscheidung gestatten. Behandelt man einen Pflanzenstengel mit starken Heteroauxinpasten, so kommt es zu Schwellungen und später zur Beiwurzelbildung. Man hat das bisher damit erklärt, daß Heteroauxin eingedrungen sei und im Innern als Wuchsstoff gewirkt habe. Wir verwendeten *Coleus*-Pflanzen und stellten uns aus dem 2., 3. und 4. Internodium nach der Methode von LINSER mit heißem Alkohol Wuchsstoffextrakte her. Diese wurden in Agar aufgenommen und an dekapitierten Haferkoleoptilen getestet. Extrakt aus je 10 Internodien gab einen mäßigen Winkel von 8—12°. Nun extrahierten wir je 20 Internodien, die 2 Tage lang mit Heteroauxinpaste 1 : 500 versehen gewesen waren. Die Paste wurde vorher mit Xylol abgewischt. Der Extrakt wurde geteilt, jede Hälfte entsprach also wieder 10 Internodien. Die eine Hälfte wurde dann nach Aufnahme in Agar direkt getestet, die andere wurde vorher 3 Stunden lang mit $^n/_1$-KOH gekocht, wodurch eventuelles Auxin zerstört werden mußte, und schließlich mit HCl neutralisiert. Es ergab sich, daß der unbehandelte Extrakt sehr viel stärkere Koleoptilkrümmungen erzeugte als der von normalen Internodien, die Winkel stiegen bis über 30° (Tabelle 1). Nach Laugenzerstörung

Tabelle 1. Wuchsstoffextrakte aus je 10 Coleus-Internodien nach 2tägiger Behandlung mit Heteroauxinpaste 1:500.

		Mittlerer Krümmungswinkel der Testpflanzen	
		Extr. unbehandelt (Auxin erhalten)	Extr. m. Lauge gekocht (Auxin zerstört)
1. Serie	2. Intern.	− 24,6°	−5,3° (1 Kol. = 11° ohnediese = −0,7°)
	2. „ (wiederholt)	− 31,5°	+ 0,7
	3. Intern.	− 16,3°	− 2,3°
2. Serie	2. Intern.	− 33,8°	−
	3. Intern.	− 27°	0°

hingegen hatte der Extrakt gar keine Wirkung mehr oder es ergaben sich wechselnde kleine Winkel. *Das Heteroauxin ist also kein Wuchsstoff.* Seine Anwesenheit hat lediglich erhöhte Auxinproduktion zur Folge, und diese ist für alle weiteren Vorgänge verantwortlich zu machen. In weiteren Versuchen extrahierten wir das erste Internodium samt der Laubknospe (Tabelle 2). Der Extrakt

Tabelle 2. Wuchsstoffextrakte aus je 10 Coleus-Spitzeninternodien (Laubknospen).

	Mittlerer Krümmungswinkel der Testpflanzen
Spitze normal	+ 8,3°
Spitze nach Behandlg. des 2. Intern. m. Het. Aux. 1:500	+12,1°

ergab bei *Avena* eine positive Krümmung. Hier liegen offenbar Hemmstoffe vor, die den Auxineffekt aufheben. Dann behandelten wir das zweite Internodium mit Heteroauxinpaste und prüften nunmehr die Spitzen dieser Pflanzen. Wieder gab der Extrakt eine positive Krümmung. Die Behandlung des zweiten Internodiums hatte also die Auxinmenge in der Spitze nicht erhöht. Solche Versuche wurden unternommen, um Klarheit darüber zu gewinnen, ob das Heteroauxin die Pflanze lokal zu erhöhter Auxinproduktion veranlaßt, oder

ob der Effekt nur darin besteht, daß schon vorhandenes Auxin zur behandelten Stelle strömt. Unsere Versuche sprechen für die erste Annahme, doch sind weitere Untersuchungen notwendig, um das eindeutig zu beweisen.

Wir wiederholten unseren Grundversuch dann an Infloreszenzachsen von *Tagetes patula*, deren Blütenstände noch knospenartig geschlossen waren. Extrakte aus normalen Achsen gaben an *Avena* getestet positive Winkel, enthielten also wieder reichlich Hemmstoff. Nach Behandlung mit Heteroauxinpaste dagegen traten starke negative Krümmungen auf, im Durchschnitt etwa 25° (Tabelle 3). Wurde der Extrakt mit Lauge gekocht, so ergaben sich wieder kleine positive Winkel, der Wuchsstoff war zerstört worden, wieder war dieser also Auxin und nicht Heteroauxin! Der Hemmstoff war wenigstens zum Teil unzerstört geblieben. Bei diesem Objekt unternahmen wir dann auch den Gegenversuch. Extrakte von Achsen, die mit Heteroauxinpaste behandelt worden waren, wurden diesmal mit HCl-Zusatz gekocht und dann mit KOH neutralisiert. Es ergab sich, daß solche Extrakte noch Krümmungen herbeiführten, die sich nur wenig von solchen unterschieden, bei denen der Extrakt nicht behandelt worden war. Wurden Infloreszenzachsen dekapiert, so erzeugte Heteroauxin immer noch viel Wuchsstoff. Das spricht dafür, daß er lokal gebildet wurde. Andererseits wurde beobachtet, daß junge Knospen über einem Pastenring ihre Entwicklung einstellten, was vermuten läßt, daß auch ihnen Wuchsstoff entzogen wurde.

Tabelle 3. Wuchsstoffextrakt aus Infloreszenzachsen von Tagetes patula

		Mittlerer Krümmungswinkel der Testpflanzen
1. Serie	Normal	+ 9,3° (Hemmstoff)
	Nach Het. Auxinbeh. 1:500 (2 Tage) . .	− 25,6°
	Nach Zerst. d. Auxins durch KOH . . .	+ 6° (Hemmstoff)
2. Serie	Nach Het. Auxinbeh. 1:500	− 21,6°
	Nach Zerstörung des Het.Aux.durch HCl	− 16,1°
3. Serie	Dekapitierte Sprosse nach Beh. m. Het. Auxin 1:500 . . .	− 18,8°
	Nicht dek. Kontrolle	− 21,2°

Ein drittes Objekt war *Nicotiana nudicaulis*. Die großen Internodien enthalten so viel Wuchsstoff, daß schon der Extrakt aus 10 normalen Pflanzen einen Winkel von etwa 25° bewirkt. Behandelten wir Internodien mit Heteroauxin, so krümmten sich die Testkoleoptilen fast nicht. Das lag aber nicht daran, daß zu wenig Wuchsstoff im Extrakt war, sondern zuviel. Verdünnten wir nämlich den Extrakt auf ein Zehntel, so erhielten wir etwa gleich starke Krümmungen wie bei Extrakten aus Normalpflanzen, der Wuchstoffgehalt hatte also um das Zehnfache zugenommen.

Es gibt auch noch andere Wege, mit deren Hilfe bewiesen werden kann, daß Heteroauxin kein Wuchsstoff ist. Aus einer noch nicht abgeschlossenen Versuchsreihe möchte ich folgendes mitteilen: Junge *Avena*-Koleoptilen wurden abgeschnitten in Nährlösung gebracht und 2 mal dekapitiert. Dann läßt man sie im Dunkeln noch so lange wachsen, bis das Wachstum fast eingestellt ist. Jetzt sind sie praktisch frei von Wuchsstoff, aber noch reaktionsfähig. Daraufhin wird seitlich in Agar Auxin oder Heteroauxin zugeführt. Das Heteroauxin wurde in einer Konzentration geboten, die der Auxinwirkung von je 4 Avenaspitzen entsprach. Im Versuch ergab sich dann, daß die mit Auxin behandelten Pflanzen sich nach 2 Stunden bis zu etwa 10° krümmten, die Heteroauxinpflanzen dagegen nicht. Erheblich später, nach etwa 6 Stunden, trat dann auch an den Heteroauxinpflanzen Krümmung ein, die im Durchschnitt 29° betrug, wobei sich aber einzelne Pflanzen später noch bis 43° und 87° krümmten. Die gleiche H.A.-Konzentration ergab an normalen Pflanzen nur 12,3° in normaler Zeit. Wieder ist die Wirkung nur so zu verstehen, daß Heteroauxin die Pflanze zur Auxinproduktion veranlaßt, und zwar auch dann, wenn sie selbst so gut wie kein Auxin mehr besitzt; es dauert dann eben nur länger, bis die Wirkung eintritt. Es fällt auf, daß hier Heteroauxin die gleiche verspätete Wirkung hat wie das sog. Proauxin in den Versuchen von SKOOG. *Heteroauxin ist also ein Wuchsstoffaktivator.* Es erscheint mir sogar wahrscheinlich, daß das Heteroauxin auch unter natürlichen Umständen in der Pflanze Wuchsstoff aktiviert. Denn LEFÈVRE hat kürzlich in Pflanzen, die besonders auffallendes Parenchymwachstum zeigen, wie bei Radieschen, Blumenkohl u. a., tatsächlich β-Indolylessigsäure nachgewiesen, und LINSER fand bei ähnlichen Objekten ungewöhnlich hohe Wuchsstoffmengen. Die Tatsache, daß Heteroauxin kein Wuchsstoff ist, erklärt ohne weiteres die Fälle, bei denen Heteroauxin keine oder eine abweichende Wirkung hatte. Künftige Untersuchungen werden also bei der Verwendung künstlicher Wuchsstoffe vorsichtig sein müssen. Immer wird man daran zu denken haben, daß man mit ihnen keinen Wuchsstoff zuführt, sondern nur Wuchsstoff in der Pflanze mobilisiert. Weitere Untersuchungen über Homologe des Heteroauxins sind im Gange.

Das Verhältnis von Mathematik, Naturwissenschaften und Technik zueinander.[1])

Von JÜRG JOHANNESSON, Kiel.

Die alte Frage nach dem Verhältnis der Wissenschaft zum Leben ist zwar oft beantwortet, aber immer wieder erneut gestellt worden, sobald sich die Ansichten über die Werte des Lebens geändert hatten. Für das Gebiet der Geisteswissenschaften hat hierzu unmittelbar nach dem Weltkrieg MAX WEBER in seinem Vortrag „Wissenschaft als Beruf" Stellung genommen, der später von E. SPRANGER in seinem Vortrag „Der gegenwärtige Stand der Geisteswissenschaften und die Schule" kritisiert worden ist[2]). In bezug auf das Verhältnis der Mathematik zu ihren Anwendungen in Physik und Technik ist von D. HILBERT in seiner Königsberger Rede das Thema erörtert worden.

WEBERS Antwort besteht darin, daß er jede Beziehung der Wissenschaft zum Leben verneint, die Suspension vom Leben sogar zur Voraussetzung für das Berufsethos des Wissenschaftlers macht. Zu der Resignation, die in dieser Aussage liegt, mag WEBER wohl zum Teil durch die Katastrophe des Lebens der Jahre 1918 und 1919 geführt worden sein.

Dieser Auffassung tritt SPRANGER entgegen, indem er an HUMBOLDTS Bildungsideal anknüpft und darauf hinweist, daß das Eindringen in die Wissenschaft auf die Lebensauffassung des Forschers zurückwirke und seine Persönlichkeit bilde und umbilde, indem es ihn dazu befähige, durch seine wissenschaftliche Einsicht begründete Werturteile zu fällen.

Diese Auffassung läßt sich nicht ohne weiteres auf die Naturwissenschaften übertragen, indem man antwortet, die Persönlichkeit des Mathematikers oder Physikers werde durch seine Wissenschaft insofern weiterentwickelt, als er befähigt sei, eine Weltauffassung auszubilden oder zu vertiefen. Hierbei schnitte nämlich die Mathematik zu schlecht ab, die erst auf dem Umwege über die Physik an der Ausbildung einer Weltauffassung beteiligt ist und somit als Zweckwissenschaft bewertet würde.

Einen derartigen Utilitarismus lehnt HILBERT entschieden ab, indem er zwar eine enge Beziehung der Mathematik zur Technik und damit zum Leben anerkennt, aber leugnet, daß die Mathematik überhaupt einer Rechtfertigung bedürfe, die etwa in dieser Beziehung zum Leben gefunden werden könnte. Während SPRANGER die Geisteswissenschaft durch eine ihr innewohende normative Kraft rechtfertigt, erkennt HILBERT der Mathematik eine faszinierende Kraft zu, die er als eine Legitimierung für ausreichend hält, da sie selbst unmittelbar ein Teil des „Lebens" sei.

Diese faszinierende Kraft, die den Forscher, der zu neuen Erkenntnissen vorstößt, erhebt, müßte nun freilich versiegen, sobald einmal alle Erkenntnisse gewonnen wären, sobald also die alles erklärende LAPLACEsche Weltformel gefunden oder H. WEYLS „abgeschlossenes Axiomensystem" aufgestellt wäre, das einer und nur einer Interpretation durch ein anschauliches Modell fähig ist: eine realistische Auffassung der Natur läßt diese Möglichkeit zu.

Man könnte also mit einem Realismus die Behauptung stützen, daß eines Tages die prinzipiellen Probleme der Mathematik und der Naturwissenschaft gelöst sein würden, und daß man sich zur Bearbeitung der noch übrigbleibenden Detailfragen nach einer Anregung von außen dann doch umsehen müßte: eine solche Anregung von außen könnte Nützlichkeitserwägungen, unter Umständen sozialer Art, entspringen.

Gegen diese Konsequenz aus HILBERTS Auffassung, die zum Utilitarismus zurückführen würde, wenden sich die folgenden Ausführungen, die zum Vergleich der Wissenschaften und der Technik miteinander einen neuen Weg einschlagen.

Während die geschilderten Auffassungen den Inhalt der Wissenschaft einerseits und des Lebens andererseits oder den Inhalt der Mathematik einerseits und den der Naturwissenschaften und Technik andererseits zum Gegenstande ihrer Aussagen machen, will die vorliegende Untersuchung die einzelnen Disziplinen bezüglich ihres Wachsens, bezüglich der an sie gewendeten menschlichen Arbeit in Beziehung setzen. Während also für die ersten Beurteilungen eigentlich eine völlige Kenntnis der Disziplinen, d. h. eine Ontologie der Wissenschaft, der Technik und des Lebens vorausgesetzt wird, wird sich die neue Beurteilung nur auf die Kenntnis des Werdens der menschlichen Arbeitszweige stützen: sie wird sich im Gegensatz zu den seinskategorialen Beurteilungen als eine werdenskategoriale Beurteilung erweisen.

Es soll daher von einem Phänomen ausgegangen werden, das allen drei Disziplinen gemeinsam angehört und von dem aus eine objektive Nebeneinanderstellung der Gebiete möglich ist. Es ist dabei offenbar unzweckmäßig, ein solches Phänomen in den Zielen oder Leistungen der Disziplinen zu suchen, da hierin notwendig, als fertigen Dingen, Maßstäbe liegen würden, die wiederum eine relative Bewertung zur Folge haben müßten, die wir ja gerade vermeiden möchten. Wir wenden uns vielmehr besser an die Methoden der Wissenschaften und der Technik, die nichts Fertiges darstellen, um ein gemeinsames Phänomen zu finden. Ferner wollen wir uns bei den Naturwissenschaften auf die Physik beschränken, um die Untersuchung nicht zu sehr in die Breite gehen zu lassen.

Als ein derartiges Phänomen bietet sich das „*Modell*" dar. Wir sahen bereits, daß WEYL die

[1]) Vortrag, gehalten am 19. Januar 1939 im mathematisch-philosophischen Arbeitskreis der Kieler Dozentenakademie.

[2]) Vgl. auch E. WITTENBERG, „Die Wissenschaftskrisis in Deutschland im Jahre 1919". Theoria **4**, H. 3, 235—264 (1938).

Interpretation eines mathematischen Axiomensystems durch ein Modell fordert; viel erörtert ist das BOHRsche Atommodell in der Physik. Es ist ferner allgemein bekannt, daß der Modellbau einen wichtigen Bestandteil in der Tätigkeit des Ingenieurs darstellt.

Um nun eine objektive Beurteilung der drei zur Diskussion stehenden Disziplinen zu gewinnen, und ihr gegenseitiges Verhältnis zueinander abzuschätzen, fragen wir:

Welche Rolle spielt das Modell in Mathematik, Physik und Technik und welchen Anteil hat es an der auf diesen Gebieten geleisteten menschlichen Arbeit in psychologischer Hinsicht?

Bevor wir an die Beantwortung dieser Frage gehen, müssen wir uns vergewissern, ob auch mit dem Wort „Modell" in den drei Fällen das gleiche gemeint ist. Zu diesem Zwecke wollen wir zunächst den sprachlichen Ausdruck „Modell" analysieren und danach zusehen, ob sich das Ergebnis der sprachlichen Analyse durch Beispiele aus der Mathematik, Physik und Technik bestätigen läßt.

Man könnte vielleicht auf diese sprachliche Voruntersuchung verzichten und sogleich an die Diskussion herangehen. Allein, es dürfte die oft geübte philologische Methode, zunächst das benutzte Wort rein sprachlich zu analysieren, deshalb empfehlenswert sein, weil man sich hierbei die Klugheit, die der Sprache als solcher innewohnt, zunutze macht. Diejenigen nämlich, die das Wort Modell zuerst in die Mathematik, die Physik und die Technik eingeführt haben, sind doch dazu durch ihr Sprachgefühl veranlaßt worden; derartige Bezeichnungen sind ja niemals wirklich rein zufällig. Infolgedessen kann die sprachliche Analyse in Fällen, die eine starke Schwankung des Sprachgebrauches aufweisen, von vornherein einen guten Wegweiser darbieten. Ja, es kann dabei sogar ein versteckter Sinn, den der Sprachgebrauch abgeschliffen hat, wieder zum Vorschein kommen und sich dadurch irgendeine besondere Leistung des untersuchten Ausdrucks offenbaren.

Sieht man also in einem Lexikon nach, was „Modell" bedeutet, so steht dort: „es kommt aus dem Italienischen und bedeutet Muster, vergleiche auch Musterschutz". Sieht man unter Musterschutz nach, so findet man dort die Angabe „Schutz von Modellen[1])". Das italienische Lexikon wiederum lehrt, daß „modello" zu deutsch Modell oder Muster heißt. Man gewinnt also zunächst den Eindruck, daß Muster und Modell ziemlich gleichbedeutende Ausdrücke seien.

Welcher ethymologische Sinn kommt nun den Wörtern Muster und Modell zu?

Das italienische „modello" hat den lateinischen Sprachstamm „modulus", „Maßstab". Danach müßte Modell eine „maßstäbliche Bildung" bedeuten, also beispielsweise „maßstäbliche Nachbildung" wie in „Flugzeugmodell"; oder ein „maßstäbliches Vorbild" wie beim „Bildhauermodell." Hier liegt also, mindestens in einigen Fällen, eine Übereinstimmung mit dem Sprachgebrauch vor.

Was heißt Muster? Muster kommt vom Lateinischen monstrare, zeigen, weisen. Ein Muster also ist ein Gegenstand, an dem man etwas zeigen, etwas aufweisen kann, also ein Demonstrationsgegenstand, Vorführungsgegenstand, auch ein Vorbild, aber nicht notwendig ein maßstäbliches Vorbild. Das dürfte sich auch mindestens teilweise mit dem Sprachgebrauch decken; man denke an eine Musterkollektion als eine Vorführungskollektion und ein Muster als Vorbild für danach zu arbeitende Stücke einer Bauserie von Maschinen.

Der Sprachgebrauch zeigt also in einigen Fällen für Muster und Modell entsprechend ihrer Ethymologie einen verschiedenen Sinn. Es ist deshalb zu verwundern, daß eine Verwirrung des Sprachgebrauchs bei den Wörtern Muster und Modell in anderen Fällen hat eintreten können, und es scheint so, als verfahre der Sprachgebrauch willkürlich in der zeitweiligen Unterscheidung und zeitweiligen Gleichsetzung von Muster und Modell. In der Erwartung, daß hinter dieser scheinbaren Willkür der Sprache vielleicht eine tiefere Begründung zu suchen ist, wollen wir bei der Untersuchung der Bedeutung des Wortes Modell in der Mathematik, Physik und Technik danach fahnden, ob im Modell jeweils erstens der Begriff der Maßstäblichkeit und zweitens der Begriff des Demonstrationsgegenstandes steckt.

Beginnen wir mit dem Modell in der Mathematik.

Die Bezeichnung Modell ist in der Mathematik zuerst aufgetaucht, als man sich den Grundlagen der Geometrie zuwandte und die Unabhängigkeit des Parallelenaxioms nachzuweisen suchte. Diesen Beweis erbrachte FELIX KLEIN dadurch, daß er innerhalb der Euklidischen Geometrie ein Modell einer nichteuklidischen Geometrie konstruierte. Dieses Modell bedient sich dabei der bekannten, in der Euklidischen Geometrie benutzten Elemente, ihnen neue Eigenschaften verleihend. D. h. also, das Modell ist ein aus bekannten Elementen bestehendes Individuum, das in der alten Geometrie frei herumspazieren kann, das aber mit soviel Vernunft ausgestattet ist, daß es nur solche Schritte unternimmt, die es auf Grund der neuen Geometrie tun soll.

Wir sehen also die vorhin gehegte Erwartung erfüllt, daß dem Modell eine Doppeleigenschaft zukommt: es ist ein aus bekannten Elementen zu-

[1]) Auch in der Literatur zum gewerblichen Rechtsschutz werden die Ausdrücke Muster und Modell zum großen Teil einfach nebeneinander benutzt. Im Gebrauchsmustergesetz z. B. kommt das Wort „Muster" nur im Titel, das Wort „Modell" hingegen nur im Text vor. Es enthält § 2 die Vorschrift, daß bei der Anmeldung eines Gebrauchsmusterschutzes an Stelle einer Zeichnung auch ein Modell des zu schützenden Gegenstandes dem Patentamt eingereicht werden könne. Hier bedeutet also Modell soviel wie körperliche Darstellung im Gegensatz zur zeichnerischen Darstellung eines Gegenstandes. Und als solch ein Modell kann ein beliebiges Muster aus einer Herstellungsserie des Gegenstandes dienen. Hier bedeutet Modell = Muster = Vorführungsgegenstand.

sammengebautes Ganzes, d. h. ein Demonstrationsgegenstand, der außerdem noch mit Vernunft, d. h. mit wohldefinierten Maßeigenschaften, ausgerüstet ist und dadurch zum Individuum wird: die Vereinigung von Muster und Modell.

Wir sehen aber noch mehr. Das Modell ist eine Art Hilfsperson. Es ist nämlich nicht eigentlich Selbstzweck; es wird beispielsweise im vorliegenden Falle nicht etwa die Widerspruchsfreiheit der durch das Modell repräsentierten nichteuklidischen Geometrie absolut bewiesen, sondern nur relativ zur Widerspruchsfreiheit der Euklidischen Geometrie, aus deren Elementen sie besteht. Es wird allerdings mit Hilfe des Modells etwas anderes Absolutes, nämlich die Unabhängigkeit des Parallelenaxioms bewiesen. Nachdem dieser Beweis erbracht ist, ist jedoch für dieses Absolute das Modell entbehrlich geworden. Man könnte nun sagen, das sei das Schicksal eines jeden Hilfssatzes in der Mathematik. Dies trifft jedoch nicht zu. Ein gewöhnlicher Hilfssatz ist ein begrifflicher Schritt im Verlauf einer begrifflichen Deduktion, also ein deduktives Element. Das KLEINsche Modell unterbricht hingegen die begriffliche Deduktion durch ein der Anschauung entlehntes Einschiebsel und ruft in ihr eine Unstetigkeit hervor: die begriffliche Deduktion wird durch etwas im Vergleich mit ihr „*Anderes*" ergänzt.

Dabei muß dieses „Andere" keineswegs wie beim KLEINschen Modell zuerst notwendig sein und danach entbehrlich werden. Es gibt vielmehr Beispiele mathematischer Modelle, die von vornherein entbehrlich sind und nur den Zweck der besseren Übersehbarkeit eines Problems erfüllen, wie z. B. noch andere Modelle der nichteuklidischen Geometrie, die von POINCARÉ und RIEMANN aufgestellt sind und nicht zum Beweise der Unabhängigkeit des Parallelenaxioms hinreichen. Derlei mathematische Individuen hat es übrigens schon in frühen und frühesten Zeiten gegeben, ohne daß dafür zunächst der Name „Modell" geprägt war. So sind die RIEMANNsche Fläche, die GAUSSsche Zahlenebene, die Zahlengerade Modelle, die in sich genau wie das KLEINsche Modell Maßbestimmung und Demonstrationsgegenstand vereinigen und dazu dienen, die Übersehbarkeit der Eigenschaften der analytischen Funktionen, der komplexen Zahlen oder der reellen Zahlen zu erleichtern. Man kann daher das Modell im Gegensatz zu den sonstigen deduktiven Elementen der Mathematik als ein *dialektisches* Element bezeichnen, auf Grund dessen unmittelbar die *Ausdrucksmittel* des Mathematikers eine Bereicherung erfahren und durch das unmittelbar dann auch der durch Deduktion gewonnene Inhalt der Mathematik erweitert wird.

Dabei braucht die Bereicherung der mathematischen Ausdrucksmittel keineswegs immer in der Anschauung zu liegen. Das Modell kann nämlich so gut sein, daß sich bei seinem Gebrauch eine solche Geläufigkeit entwickelt, daß es nicht nur mathematische Sprache, sondern Sprache überhaupt wird und sein Modellcharakter in Vergessenheit gerät.

Ein derartiges Modell liegt dem Zählen zugrunde; jedenfalls mindestens bei einer Reihe von Ur- und Naturvölkern, bei denen sich zum Teil noch heute nachweisen läßt, daß ihr Zählen von Gegenständen in einem Zuordnen dieser Gegenstände zu ihren Fingern, Zehen, Schultern, Ellenbogen usw. besteht. Sie benutzen also einzelne Glieder des Körpers als Modell für das Zählen von Gegenständen in der Weise, daß sie zunächst demonstrieren, d. h. im wahrsten Wortsinn mittels der einzelnen Glieder auf die einzelnen Gegenstände hinzeigen und dann das letzte Glied, bis zu dem sie jeweils vorgedrungen sind, als die Maßzahl für die Summe der Gegenstände definieren. Die vorhin festgestellte Eigenschaft des Modells, ein selbständiges Individuum zu sein, ist hierbei offenbar erfüllt, denn der Vorgang des Abzählens mit den Fingern und Zehen geht völlig selbständig vor sich und hat unmittelbar gar nichts mit der darauf erfolgten Zuordnung des letzten Gliedes, nämlich der Ordinalzahl zur Summe der Gegenstände, nämlich der Kardinalzahl, zu tun: dieser letzte Akt ist eine Leistung des Zählenden, bei der er sich die Leistung des Modells zunutze macht: diese besteht in der Beschaffung der Ausdrucksmöglichkeit für das Summenganze. In manchen Fällen, z. B. im Sotho der Zentralbrasilianer, ist diese Ausdrucksmöglichkeit unmittelbar zum Sprachgebrauch geworden: dort bedeutet das Zahlwort fünf „vollende die Hand" und sechs bedeutet „springe", d. h. „springe zur anderen Hand über". Hier ist also das Modell identisch zur Sprache geworden und hat sowohl seinen Modellcharakter als auch seine Anschaulichkeit verloren.

Wir haben die aus der Sprachanalyse gewonnene Wortbedeutung des Modells bei den Modellen in der Mathematik bestätigt gefunden und außerdem das Modell als ein für die Deduktion „anderes" dialektisches Element kennengelernt, dessen Bedeutung darin besteht, daß es sprachbildend oder wenigstens die Ausdrucksmittel der Mathematik bereichernd ist[1]).

Betrachten wir nun die Modelle in der Physik und in der Technik.

In beiden Gebieten hat man schon immer körperliche Modelle gebaut, die zur Veranschaulichung irgendwelcher Vorgänge dienten und es gestatteten, diese Vorgänge dabei auch messend zu verfolgen. Sie werden auf Schulen und Universitäten zu Lehrzwecken oft verwendet und es bedarf eines näheren Eingehens auf Beispiele nicht: denn offenbar sind der Demonstrationszweck und der Meßzweck gemeinsam vorhanden.

---

[1]) Unsere Modellauffassung geht etwas weiter als die von W. SCHMIED-KOWARZIK in seinem „Umriß einer analytischen Psychologie" (S. 150—160) entwickelte, der vorwiegend die eine Seite, nämlich die des „Demonstrierens" oder „Bestätigens" berücksichtigt. Das Thema, das SCHMIED-KOWARZIK behandelt, ist allerdings auch ein anderes als das vorliegende, nämlich die Entgegensetzung von Experiment und Modell, wofür unsere Betrachtungen nicht erforderlich sind.

Und zwar ist auch die Entstehung der Modelle die gleiche, wie wir sie soeben in der Mathematik gefunden haben: zunächst nämlich baut sich der Ingenieur die Verwirklichung einer vorläufigen Lösung seines Problems zu einem Modell zusammen unter Weglassung aller die Übersicht störenden und nicht unbedingt erforderlichen Komplikationen. Dieses Modell ist ein selbständiges Individuum, an dem er herumprobieren und herumhantieren kann und das ihm auf die gestellten Fragen eine mehr oder weniger vollständige Antwort gibt: es ist ein Demonstrationsgegenstand. So gibt man beispielsweise dem Telephon, das man für irgendwelche Spezialzwecke herrichten möchte, zunächst eine solche Gestalt, bei der die Masse, die Elastizitäten, die Dämpfungsglieder, die Magnete alle voneinander getrennt sind, so daß sie einzeln verändert werden können und ihre gegenseitige Beeinflussung beobachtet werden kann. Erst zum Schluß, wenn man alle Eigenschaften dieses Modells genau kennt, geht man daran, einige Teile in zweckmäßiger, ökonomischer Weise wieder miteinander zu vereinigen, beispielsweise eine Membran zu bauen, die gleichzeitig Elastizität, Masse, Dämpfungsglied, Gehäusebestandteil und Magnetkörper ist und dabei alle vorher an den Einzelteilen des Modells studierten Maße für diese Größen miteinander richtig vereinigt: alsdann ist auf Grund des Studiums des Modells das fertige Gerät entstanden. Nach der Fertigstellung des Geräts ist das Modell entbehrlich und wandert in den Ausstellungsraum der Fabrik oder ins Deutsche Museum und gegebenenfalls in die Lehrbücher: Es ist zum Ausdrucksmittel der Entwicklungstätigkeit des Ingenieurs geworden.

Dabei besitzt das technische Modell durchaus die Eigenschaft, etwas „Anderes" darzustellen; denn es geht nicht durch stetige Entwicklung aus dem Bekannten hervor, sondern das, was neu erfunden werden soll, stellt gegenüber dem Bekannten eine Unstetigkeit dar, der das Modell als Zwischenstufe dient vermöge seiner Eigenschaft, das vorliegende Problem übersehbar zu machen. Deshalb verlangt auch das Patentgesetz von einer neuen, patentfähigen Erfindung mit Recht, sie müsse eine sprunghafte Bereicherung der Technik darstellen.

Außerdem ist das Modell in vielen Fällen nicht nur ein „Anderes" wie das KLEINsche Modell, das innerhalb des zu untersuchenden Gebiets konstruiert war; sondern die Bedeutung des Modells besteht oft genug gerade darin, etwas „Fremdes" zu sein, indem es sich der Vorstellungen eines fremden Gebietes bedient und das vorliegende Problem in „Analogie" mit diesem fremden, im allgemeinen schon etwas bekannteren Gebiet studieren läßt.

So ist — um ein physikalisches Beispiel zu nennen — das BOHRsche Atommodell aus der Vorstellungswelt des Astronomen entlehnt, indem es so tut, als ob sich die Elektronen um den Atomkern wie die Planeten um die Sonne bewegen, wobei außer den KEPLERschen Gesetzen noch eine mathematische Vorschrift darüber gemacht wird, welche möglichen diskreten Bahnen für die Elektronen existieren und die Elektronen noch mit aus physikalischen Vorstellungselementen bestehenden Eigenschaften ausgestattet sind, nämlich von einer Bahn zur anderen unter gleichzeitiger sprunghafter Erzeugung oder Vernichtung von Wellenenergie überspringen zu können. Dadurch, daß man nach Aufstellung des Modells die Analogie mit der Astronomie weitertrieb, untersuchte man auch die Fähigkeit der Elektronen, sich wie die Planeten um ihre eigene Achse zu drehen, und kam so zu der Begriffsbildung des Elektronenspins, die eine Reihe zunächst noch nicht in Betracht gezogener Probleme, wie z. B. die Dublettstruktur gewisser Spektrallinien, zu erklären vermochte. Gerade in derartigen Fällen also, in denen das Modell nicht ein „Anderes", sondern sogar ein „fremdes Anderes" ist, liegt es nahe, daß die Phantasie des Physikers besonders stark befruchtet und dadurch mit den Ausdrucksformen auch gleichzeitig der Inhalt der Physik vermehrt wird.

Betrachtet man übrigens das, was dem BOHRschen Modell zugrunde liegt, nämlich das Kopernikanische Sonnensystem, so ist zu sagen, daß es selbst ebenfalls ein Modell darstellt oder mindestens einmal gewesen ist. Es war nur gegenüber der Ptolemäischen Vorstellung so verblüffend einfach und übersichtlich und gestattete zudem später noch die Ableitung der KEPLERschen Gesetze aus der NEWTONschen Mechanik, daß schließlich niemand mehr an seiner Richtigkeit zweifelte und es damit zur Wirklichkeit erhoben wurde: es vollzog sich dasselbe wie bei dem Zählen der Naturvölker, bei dem auch das Modell unmittelbar zur Sprache, d. h. zur Zahlenwirklichkeit, wurde.

Genau so geht es übrigens manchmal auch in der Technik, daß das Modell seinen Modellcharakter aufgibt und mit dem Gerät identisch wird, weil es eben von Anfang an so schön konstruiert war, daß sich eine technische Weiterentwicklung erübrigte.

In den meisten Fällen freilich werden die technischen Modelle, ähnlich wie das BOHRsche Atommodell, einem fremden Gebiet entlehnt, auf dem man bereits Erfahrungen besitzt. So machte man sich früher mechanische Modelle zum Studium elektrischer Vorgänge, insbesondere elektrischer Schwingungen. Dies ist deshalb möglich, weil beide Arten Schwingungen demselben mathematischen Gesetz gehorchen: die Schwingungszeit eines mechanischen Systems ist $T = 2\pi \cdot \sqrt{E/D}$, die eines elektrischen Systems ist $T = 2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$, wobei man den Elastizitätsmodul E in Analogie mit der Selbstinduktion L und die Dichte D in Analogie mit der reziproken Kapazität $1/C$ betrachten kann. Die historische Entwicklung der Modellbildung ist hier sehr merkwürdig. Früher beherrschte man die Mechanik besser als die Elektrizitätslehre. Nachdem aber schließlich die Vorstellungen der Elektrotechnik allgemein bekannt und geläufig geworden waren, fingen um-

gekehrt die Akustiker an, beim Studium ihrer mechanischen Schwingungssysteme elektrische Ersatzkreise, d. h. elektrische Modelle zu konstruieren und ihren Entwicklungen zugrunde zu legen[1]).

So zieht man heutzutage in der Physik und in der Technik[2]) allenthalben Modelle aus den verschiedensten fremden Gebieten heran und läßt sich dabei von der jeweiligen weiteren Entwicklungsstufe der fremden Gebiete gegenüber den eigenen leiten. Und zwar ist dies nicht nur auf die Physik und die Technik und deren Teilgebiete beschränkt; sondern die Mathematik wird hierin durchaus einbezogen und ebenfalls der Mathematiker bedient sich oftmals physikalischer oder technischer Modelle, indem er die Koeffizienten von Reihen als „Gewichte" auffaßt und deutet, indem er Bewegungen eines Punktes in der GAUSSschen Zahlenebene sich mit gewissen Geschwindigkeiten vollziehen läßt oder ähnliche Ausdrucksweisen wählt.

Als letztes Beispiel eines außerordentlich fremden Modells der Physik, das den Individuumcharakter besonders stark hervorkehrt, diene eine Konstruktion der Relativitätstheorie. Es geht um die Ableitung der LORENTZschen Transformationsgleichungen, die die Bewegung eines Körpers relativ zu einem festen Bezugssystem umrechnen. Das Modell besteht aus zwei Physikern A und B, die sich auf zwei verschiedenen Bezugssystemen befinden, die zunächst als gegeneinander ruhend angenommen werden; beide sind mit Uhren ausgerüstet und wollen die Gleichzeitigkeit eines physikalischen Vorgangs definieren; hierzu bedienen sie sich des schnellsten Verständigungsmittels, das man kennt, nämlich der Funkentelegraphie, deren Nachrichten sich mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten. Das Modell arbeitet folgendermaßen: der Physiker A telegraphiert an den Physiker B und liest gleichzeitig seine Uhr ab; B liest im Augenblick des Empfangs seine Uhr ab und antwortet zugleich. A liest nun wieder im Augenblick des Empfangs seine Uhr ab. Hierdurch lassen sich die beiden Uhren zum Gleichlauf bringen und kann die Gleichzeitigkeit definiert werden.

Nimmt man nun jedoch an, daß die Physiker A und B sich relativ zueinander bewegen, so gelingt es durch keine Mittel, die beiden Uhren zum Gleichlauf zu bringen und eine Gleichzeitigkeit zu definieren. Es ist vielmehr notwendig, nunmehr eine grundlegende Voraussetzung zu machen: nämlich die Annahme, daß die Verständigungsgeschwindigkeiten, d. h. die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der telegraphischen Wellen in den beiden Bezugssystemen gleich groß sind: aus dieser Grundannahme ergeben sich die LORENTZschen Transformationsgleichungen.

Das letzte Beispiel zeigt, daß sich die Grundphänomene der Physik im wahrsten Wortsinn unmittelbar als ein Verständigungsproblem deuten lassen. Dazu haben wir aus den anderen Beispielen gesehen, daß eine derartige Verständigung nicht nur zwischen zwei Physikern, sondern auch zwischen den Mathematikern, Physikern und Technikern untereinander stattfinden kann und daß dadurch eine Art Arbeitsteilung erreicht wird: mittels des Modells können die Errungenschaften der Nachbargebiete unmittelbar übertragen und ausgewertet werden. D. h. aber, das Modell schafft nicht nur Ausdrucksmittel für ein jeweiliges Gebiet, sondern ist *überhaupt* sprachbildend, überhaupt ausdrucksmittelbildend.

Nachdem wir somit gesehen haben, daß das Modell ein der Mathematik, Physik und Technik gemeinsames Phänomen darstellt, und uns über seine charakteristischen Merkmale klar geworden sind, wollen wir von einem allgemeinen Gesichtspunkt aus den Platz betrachten, den das Modell innerhalb der Ausdrucksmittel der herangezogenen Disziplinen einnimmt. Es spielt nämlich eine ähnliche Rolle wie der Dualis innerhalb der Sprache.

Der Dualis ist bekanntlich die zwischen Ein- und Mehrzahl stehende Zweizahl, die in der deutschen Grammatik nur verkümmert vorkommt, hingegen z. B. im Griechischen teilweise erhalten ist und ebenfalls in der Sprache verschiedener Naturvölker zwischen Ein- und Mehrzahl eingeschoben ist. W. VON HUMBOLDT z. B. hat dem Dualismus besonderes Interesse zugewendet, indem er darauf hinwies, daß die Voraussetzung für alle Sprachentstehung das Vorhandensein eines Fragenden und eines Antwortenden, d. h. eine Verständigung zwischen Zweien sei.

Ebenso, wie sich der Dualis zwischen die Betrachtung eines Einzelfalles und die für die Vielzahl geltende Begriffsbildung schiebt, so steht das Modell zwischen dem einmaligen Lösungsversuch einer gestellten Aufgabe und der allgemeinen vorläufig abschließenden Lösung. Entsprechend HUMBOLDTS Auffassung vom Dualis offenbart sich im Modell der grundsätzliche Verständigungscharakter sowohl der Mathematik als auch der Physik und der Technik. Denn auch das Lösen einer wissenschaftlichen oder technischen Aufgabe ist ja ein Fragen und Antworten: ich, der ich die Lösung noch nicht kenne, bin ein Frager und zu einem Frager muß es einen Gefragten geben. — Dieser Grundsatz ist eine Abwandlung der Behauptung HEIDEGGERS, die er in „Sein und Zeit" seiner Seinslehre vorausstellt: zu einer Frage gehöre stets ein Gefragtes. Wenn dem so wäre, dann brauchte ich gar nicht erst zu fragen, da ich mich unmittelbar zu einem Wissenden machen könnte, ohne eine Antwort nötig zu haben. — Wir also behaupten mit HUMBOLDT: es hat nur einen Sinn zu fragen, wenn es einen Gefragten gibt, der mir eine Antwort zu geben vermag, die ich dann vernehme und auf Grund deren ich mein Nichtwissen in ein Wissen verwandele, d. h. meine Aufgabe löse.

[1]) Vgl. H. HECHT, Schaltschemata und elektromechanische Analogie. Z. techn. Physik **22**, 112—117 (1941).

[2]) Vgl. den schwedischen Aufsatz von F. DAHLGREN, „Modellbildung in der Krafttechnik"; Technisk Tidskr. Elektroteknik **1938**, Nr 8, 113—119. Es werden geometrische, elektrische und mathematische Modelle für die Behandlung krafttechnischer Aufgaben herangezogen.

Der Gefragte kann nun entweder ein lebendiges Individuum, ein Mensch, sein oder ein künstliches Ding, das die Eigenschaft eines Individuums besitzt, Auskunft auf Befragen zu geben: ein Modell.

Das Modell also repräsentiert einen anderen Menschen — Beispiel Relativitätstheorie —, mit dem zusammen ich Wissenschaft oder Technik betreibe. Und da wir weiter gesehen hatten, daß das Modell vielfach zwischen den einzelnen Gebieten vermittelt, so stellt sich das Modell ganz allgemein als ein Grundphänomen dar, auf Grund dessen sich eine gegenseitige Verständigung der Mathematiker, Physiker und Techniker untereinander und damit die Erweiterung der Ausdrucksmittel dieser Disziplinen ergibt.

Das bedeutet: es gibt keinen Solipsismus, weder eines einzelnen Forschers oder Technikers noch der Mathematik oder der Physik oder der Technik. Ein solipsistischer Mathematiker, der sich mit keinem anderen Mathematiker oder Techniker verständigt und auch für sich selbst keine Modelle entwirft, nicht einmal an rein mathematischen Modellen herumhantiert, kann für die Mathematik keine neuen Ausdrucksmittel schaffen und sie überhaupt nicht befruchten: er könnte höchstens ein Rechenkünstler oder ein geistreicher Virtuose sein, der stets nur die gleichen Kunststücke fertig bringt, ohne schöpferischen Geist. Ebenso verhält es sich mit einem solipsistischen Techniker, der nur als ein Einsamer, als sog. Erfinder, sich Aufgaben stellt ohne Rücksicht auf die Umwelt und die Ergebnisse der Physik und ohne kritische, am Modell durchgeführte Versuche: er bleibt ein Sonderling, der keine Beziehung zu erfolgreicher Arbeit hat, oder wenn er kaufmännisch begabter ist, ein Betrüger, der aus nichtigen Patenten Geld zu machen versteht, ohne damit die Technik und die Menschheit zu bereichern.

Indem wir den Solipsismus ablehnen, lehnen wir gleichzeitig den Realismus, nämlich das abgeschlossene Axiomensystem und die LAPLACEsche Weltformel ab; denn nur unter dem Zeichen des Realismus könnte der Solipsist hoffen, fertige Früchte zu ernten.

Diese Ablehnung des Realismus beruht freilich auf keinem Beweise. Denn wenn auch der Solipsismus — wenn er überhaupt denkbar ist — ohne Realismus nicht sinnvoll sein kann, so ließe sich ja ein Realismus ohne den Solipsismus rechtfertigen. Aber die vorgebrachten, aus der Existenz des Modellphänomens hergeleiteten Argumente gegen den Solispsismus besitzen auf Grund folgender Überlegung auch Überzeugungskraft (wenngleich nicht Beweiskraft) für die Ablehnung des Realismus.

Man fasse nämlich das behandelte mathematisch-physikalisch-technische Modellphänomen seinerseits wieder als philosophisches „Modell" innerhalb unserer Untersuchung auf; so haben wir erstens in ihm einen Maßstab, durch den wir beurteilen können, wie weit ein Wissenschaftler oder Techniker schöpferisch ist bzw. wie weit eine wissenschaftliche oder technische Leistung psychologisch als Neuschöpfung anzusehen ist: die nachweisliche Benutzung eines Modells ist das Kriterium für das Vorliegen einer psychologischen Produktion. Die behauptete Notwendigkeit des Modells für Neuschöpfungen erhellt aus folgender gestaltanalytischer Überlegung. Die Entdeckung oder Erfindung, die ich suche, ist eine neue Gestalt oder Ganzheit. Was ich zur Verfügung habe, sind eine Handvoll bekannter Elemente. Wenn ich diese durcheinanderschüttele, erhalte ich noch nichts: die Summe bekannter Elemente ist noch keine Gestalt. Ich muß vielmehr eine Gestalt oder eine Ganzheit vorerst bilden und auf ihre mir bekannten Elemente hin analysieren und dann durch Veränderung der Elemente auf eine veränderte Gestalt schließen, die ich wiederum neu zu bilden habe und dann auch von neuem auf ihre Elemente hin analysieren muß: dies kann ich an dem Modell vornehmen, das Gestalt und Summe von Elementen in sich vereinigt. Daraus erklärt sich auch seine Doppeleigenschaft: das Bilden von Gestalten ist das Demonstrieren, das Analysieren in bezug auf die Elemente ist ein Ausmessen. Gleichzeitiges Ausmessen und Demonstrieren aber ist Verständigung, die vorhin als Vorbedingung für eine Schöpfung neuer Gestalten in Wissenschaft und Technik gefordert wurde.

Zweitens ist für unsere Untersuchung das „Modell" ein Demonstrationsobjekt für einen psychologischen Akt — nämlich den Akt des Modellbaues —, der eine aus freiem Verständigungswillen fließende, sich nie erschöpfende Bereicherung der wissenschaftlich-technischen Ausdrucksformen mit einer ebenfalls aus der Verständigung resultierenden gegenseitigen Dienstbarmachung der verschiedenen menschlichen Bestrebungen in sich vereinigt: d. h. am Modell des „Modells" wird die Vereinigung freier Schöpfung innerhalb jeder Disziplin mit sozialer Gleichschaltung der Disziplinen durch Verständigung aus Freiheit aufgezeigt.

Diese Leistung des Modells besitzt für den, der sich zum Streben nach Freiheit bekennt, die Überzeugungskraft, daß er sich recht entschieden hat. Wer sich dagegen nicht für die Freiheit, sondern für den Realismus oder den Utilitarismus entscheidet, erreicht die Vereinigung unseres Modells nicht.

Somit ist die aus unserer Erörterung gewonnene Ablehnung des wissenschaftlichen und technischen Solipsismus als eine Gesinnung anzusehen, zu der man sich durch freie Entscheidung bekennen muß. Sie ist nicht bewiesen, sondern eine Forderung, die durch das freie Interesse an der Sache selbst begründet ist und daher als eine *„pragmatische Forderung"* bezeichnet werden kann: sie geht dahin, die Beteiligung an der wissenschaftlichen Forschung oder an der Technik als eine Form der gegenseitigen Verständigung aufzufassen und im Geiste der Verständigung zu betreiben. Der Weg, auf dem dies geschehen kann, ist die Modellbildung.

Hierbei bedeutet der Ausdruck „pragmatisch" ursprünglich: „durch die gemeinsame Sache bedingt". Während jedoch beispielsweise bei WIL-

LIAM JAMES der „pragmatische Zusammenhang" empirisch, nämlich als ein sich nachträglich ergebender Zusammenhang aufgefaßt wird, der die Aussicht eröffnet, daß die jeweiligen pragmatischen Zusammenhänge — die jeweiligen Wahrheiten — gegen ein gemeinsames Ziel konvergieren und sich hierdurch als Wahrheit rechtfertigen, deuten wir diesen Ausdruck im Sinne unserer Untersuchung um, indem wir den Gedankengängen des Kritizismus folgen, wie er in neuerer Zeit vor allem von O. WEIDENBACH[1]) weiterentwickelt worden ist, und definieren „pragmatisch" als „durch die Sache gefordert": der pragmatische Zusammenhang wird zur pragmatischen Forderung, solche Handlungen zu vollbringen, die miteinander „in Zusammenhang setzbar" sind, d. h. mitteilbar sind. Die pragmatische Forderung ist also die Voraussetzung (nicht das sich nachträglich ergebende Resultat) für die Aufstellung von wissenschaftlichen Systemen. Der pragmatische Zusammenhang ist nach dem Kritizismus a priori und nicht empirisch.

Nach unserer Auffassung setzt also die Verständigung über eine Sache nicht hinterher, nachdem ich die Sache erkannt habe, ein, sondern der Verständigungsakt vollzieht sich gleichzeitig mit der Erkenntnis und ist psychologisch sogar als das Primäre anzusehen: in diesem Sinne ist es nicht wissenschaftliche Erkenntnis selbst, wie HILBERT meint, die die Bewunderung der Menschen herausfordert, sondern die mitgeteilte Erkenntnis: die Lehre.

So soll z. B. dem Mathematiker nicht so sehr daran gelegen sein, eine bloße Erweiterung des Inhalts der Mathematik durch Aufstellen beliebiger neuer Sätze herbeizuführen; sondern er soll gleichzeitig sein eigenes Ich dadurch zu erweitern suchen, daß er die anderen Mathematiker dadurch zwingt, seinen Gedanken nachzugehen und sie mitzudenken, ebenso wie der Techniker seine Mitmenschen einerseits zwingt, zur Vollendung seiner Arbeit mitzuhelfen (Betriebsgemeinschaft), oder auf sie andererseits einwirkt, sich seiner Geräte zu bedienen (Kundenwerbung).

Hiermit ist der gemeinsame soziale Charakter der Mathematik, der Naturwissenschaft und der Technik dargetan, wobei ihr gegenseitiges Verhältnis zueinander als eine Arbeitsteilung im Verlauf einer allgemeinen gegenseitigen Verständigung der Menschen untereinander anzusehen ist. Die eingangs gestellten sozialen Probleme erledigen sich hiermit von selbst: allgemeine Fragen nach einer Rangordnung zwischen den drei Disziplinen oder nach einer utilitaristischen Beurteilung sind nämlich unfruchtbar und bereits als Fragen abzulehnen, nachdem sich uns die für jeden Wissenschaftler und Ingenieur verbindliche pragmatische Forderung ergeben hat, jedes der Gebiete für sich so verständlich wie möglich und die Gebiete einander gegenseitig so befruchtend wie möglich zu gestalten.

[1]) O. WEIDENBACH, Weltanschauung aus dem Geiste des Kritizismus, S. 234—235. München: Rösl & Cie. 1923.

Dieses Resultat unserer Untersuchung mag auf den ersten Blick trivial erscheinen, da es sich einfach mit dem deckt, was jeder auf Grund seines gesunden Menschenverstandes, ohne weitere Betrachtungen anzustellen, auch meinen würde. Aber abgesehen davon, daß der gesunde Menschenverstand, wie DESCARTES geistreich bemerkt, keineswegs so verbreitet ist, wie man gemeinhin annimmt, und daß es im übrigen auch nicht gerade als ein Vorzug einer wissenschaftlichen Untersuchung angesehen werden muß, wenn ihr Resultat der unbeschwerten, landläufigen Auffassung widerspricht, so ist im vorliegenden Falle das Wesentliche die Beweisführung selbst und nicht ihr Ergebnis. Wir haben nämlich das gegenseitige Verhältnis der Mathematik, Naturwissenschaften und Technik nicht von einer höheren, allgemein wissenschaftstheoretischen oder soziologischen Basis, d. h. von außen her, erörtert: von einem derartigen Standort eines äußeren, an den Dingen selbst nicht sonderlich interessierten, gerechten Beobachters, erscheint das Ergebnis trivial, weil dieser Beobachter die drei Gebiete als ein soziologisches Ganzes überschaut.

Wir sind vielmehr an die Mathematik, Naturwissenschaften und Technik als Elemente dieses Ganzen analysierend herangetreten und haben dann die Erfordernisse, die der Modellbildung in den verschiedenen Fällen zugrunde liegen, zu einer synthetischen Einheit gebracht, die sich auf das Ganze bezieht: hierbei war es keineswegs zu erwarten, daß der Weg von den Elementen zu dem gleichen Ziele führen würde wie der Weg, der seinen Ursprung im Ganzen nimmt. Es besteht vielmehr an sich ein unvermeidbarer Widerspruch zwischen den individuellen Forderungen der Elemente und den ganzheitlichen Ansprüchen der aus ihnen gebildeten Einheit, da die Eigenschaften, Element und Ganzes zu sein, einander ausschließen: in der zwischen den Gegensätzlichkeiten bestehenden „Spannung" ist vielleicht mit O. WEIDENBACH überhaupt die Quelle alles lebendigen Fortschrittes zu erblicken[1]).

Unser eigentliches Ergebnis ist daher die Überbrückung der zwischen den Belangen der Einzeldisziplinen sowohl untereinander als auch in bezug auf ihre Gesamtheit als wissenschaftlich-technischer Sektor des sozialen Lebens bestehenden Gegensätzlichkeit durch die Verständigung mittels Modellbildung. Diese Überbrückung konnte nur durch ein in sich doppeltes Phänomen, wie es das Modell darstellt, gelingen, da sonst die Spannung zwischen den Gegensätzen ausgelöscht worden wäre. Im Modell bleibt jedoch die Spannung bestehen; in ihm ist daher die Garantie für den Fortschritt vorhanden: nur auf Grund dieser Eigenschaft war es dazu geeignet, die Grundlage für eine pragmatische, im übrigen auch dem gesunden Menschenverstand einleuchtende Forderung abzugeben.

[1]) O. WEIDENBACH, l. c. S. 245—254.

Kurze Originalmitteilungen.

Für die kurzen Originalmitteilungen ist ausschließlich der Verfasser verantwortlich.

Erhöhung der Auflösung im Emissions-Elektronenmikroskop.

Von BRÜCHE und KNECHT[1]) wurde im Jahre 1934 das Auflösungsvermögen des Emissions-Elektronenmikroskops zu 3 μ bestimmt. In der Folgezeit ist über eine experimentelle Erhöhung des Auflösungsvermögens des Emissionsmikroskops nichts bekannt geworden. Da dieses Problem von Wichtigkeit für metallographische, glüh- und photoelektrische Untersuchungen von Oberflächen ist, wurde versucht, die Auflösung weiter zu steigern.

Ein direkt geheiztes Molybdänband wurde mit dem rein elektrostatisch arbeitenden Immersionsobjektiv nach BRÜCHE

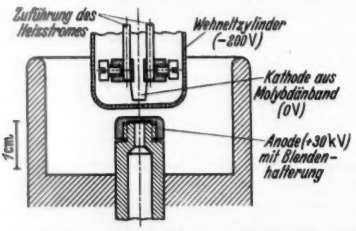

Fig. 1. Immersionsobjektiv für hohe Spannung und Auflösung. Brennweite $f = 3{,}06$ mm; Abstand Wehneltzylinder—Anode = 2 mm; Durchmesser des Wehneltzylinders = 1,3 mm.

Fig. 2. Glühemissionsbild von thoriertem Molybdänband mit Emissionszentren. Elektronenoptisch 320:1. Figur 640:1.

und JOHANNSON[2]) in einer Stufe vergrößert abgebildet. Um die Anwendung höherer Spannungen (30 kV gegenüber 2 kV früher) und höherer Feldstärken (150 kV/cm gegenüber 20 kV/cm früher) zwischen Wehneltzylinder und Anode zu ermöglichen, waren einige Abänderungen des Systems notwendig (Fig. 1.) Hierbei kamen Erfahrungen zustatten, die früher anläßlich des Aufbaues von Hochspannungseinzellinsen[3]) gesammelt worden waren. Außerdem wurde die Technik der Innenphotographie auch auf das Emissionsmikroskop übertragen, so daß das grobe Korn des früher verwendeten Leuchtschirms durch das feinere der photographischen Schicht ersetzt wurde und eine Auflösungsbegrenzung durch das Korn des Aufnahmematerials nicht mehr eintrat.

Der Erfolg dieser Maßnahmen bestand, wie Fig. 3 zeigt, in der Erhöhung des Auflösungsvermögens des Emissionsmikroskops von 3 μ auf 0,07 μ. Damit wurde zunächst das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops von 0,2 μ auch in der Emissionsmikroskopie überschritten, außerdem aber auch die obere Grenze des theoretischen Auflösungsvermögens, die nach RECKNAGEL[4]) für den vorliegenden Fall (Feldstärke an der Kathode 30 kV/cm) 0,13 μ beträgt.

Allerdings ist hierbei zu berücksichtigen, daß der experimentelle Aufbau des Objektivs in bezug auf Achsialität der Elektroden sowie auf Ausrichtung und Glättung des Objekts noch provisorischen Charakter hatte, so daß ein präziserer Aufbau eine weitere Steigerung des Auflösungsver-

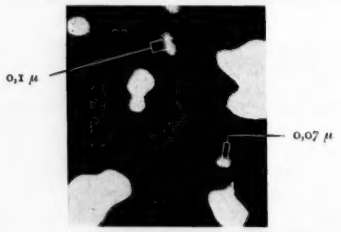

Fig. 3. Vergrößerter Ausschnitt aus Fig. 2 zur Bestimmung des Auflösungsvermögens. Figur 16500:1.

mögens erhoffen läßt. In der gleichen Richtung dürfte auch die Anwendung indirekter Heizung, d. h. die Vermeidung des Magnetfeldes, das durch die direkte Heizung der Molybdänfolie verursacht wird, wirken. Da für die Begrenzung des Auflösungsvermögens hauptsächlich der Öffnungsfehler des Linsensystems verantwortlich zu machen ist, führen Maßnahmen, die auf die Begrenzung des Öffnungswinkels hinauslaufen (z. B. die vorgenommene Spannungserhöhung oder der Einbau von Aperturblenden), ebenso wie beim Durchstrahlungsmikroskop[5]) zur Erhöhung der Auflösung des Emissions-Elektronenmikroskops. In diesem Zusammenhang vorgenommene Versuche über den Einbau sehr kleiner Blenden[6]) aus 0,015 mm starkem Platinblech in die Anode zeigten, daß derartige Blenden, bei geeignetem Schutz durch gröbere Vorblenden, die durch den Elektronenaufprall verursachte thermische Belastung auszuhalten vermögen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft dankt der Verf. für die Unterstützung der Arbeit.

Wien, I. Chemisches Univ.-Laboratorium (Laboratorium f. Strukturforschung und Übermikroskopie) den 8. Januar 1942. H. BOERSCH.

[1]) E. BRÜCHE u. W. KNECHT, Z. f. Physik **92**, 462 (1934).
[2]) Vgl. z. B. H. JOHANNSON, Ann. d. Physik **18**, 385 (1933).
[3]) H. BOERSCH, Z. f. techn. Physik **7**, 34 (1940).
[4]) A. RECKNAGEL, Z. Physik **117**, 689 (1941).
[5]) H. BOERSCH, Ann. Physik **26**, 631 (1936) u. Jahrb. d. AEG-Forschung. Sonderheft Übermikroskop. **7**, 27 (1940).
[6]) H. BOERSCH, Z. Physik **116**, 469 (1940).

Erniedrigte d-Aminosäureoxydase-Wirksamkeit in der Leber tumorkranker Ratten.

Seit der folgenreichen Entdeckung von KÖGL und ERXLEBEN[1]), daß die Proteine der malignen Tumoren Aminosäuren mit der „unnatürlichen" d-Konfiguration enthalten, ist vielfach der Frage nachgegangen worden, ob sich in enzymatischen Systemen in sterischer Hinsicht Unterschiede zwischen dem normalen und dem krebskranken Organismus finden. Es wurden hierbei hauptsächlich peptidspaltende Enzymsysteme im Tumorgewebe selbst oder im Serum des kranken Organismus untersucht.

Die Frage, die ich mir vorlegte, war, ob sich im Enzymsystem des oxydativen Aminosäureabbaus, wie es in der Leber vorliegt, bei Gegenwart eines stark wachsenden Karzinoms Unterschiede gegenüber der Norm würden erkennen

lassen. „Gesunde" Lebern von Ratten mit Walker-Tumoren wurden auf ihre Fähigkeit zur Oxydation von optisch reinem d- und l-Phenylalanin (P.A.) geprüft und mit den Lebern normaler Tiere verglichen. d-P.A. wird von der Krebsschen d-Aminosäureoxydase[2]) dehydriert; über die die natürlichen Aminosäuren oxydierende l-Aminosäureoxydase ist bisher nichts Näheres bekannt[3]).

Zur Durchführung des Testes wurden die frisch entnommenen Lebern von je einem Tumortier (Walker-Tumoren, unter die Haut geimpft, meist 3—4 Wochen alt, 15—30 g schwer) und einer unbehandelten Kontrollratte (meist Geschwistertier vom gleichen Geschlecht) bei 0° mit m/5-Phosphatpuffer (p_H = 8,0) extrahiert und zentrifugiert. Im Warburg-Apparat wurde die Sauerstoffaufnahme in Gegenwart von Phosphatpuffer (Leerwert), d-P.A. und l-P.A. über 3 Stunden verfolgt. Es ergab sich, daß die O_2-Aufnahme für d-P.A. (Leerwert abgezogen) bei den Extrakten von den Kontrollratten nach dieser Zeit durchschnittlich etwa 2- bis

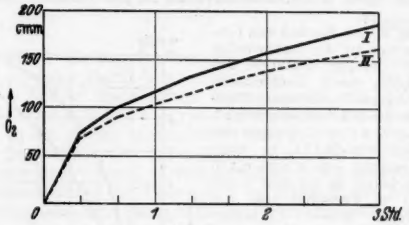

Fig. 1.

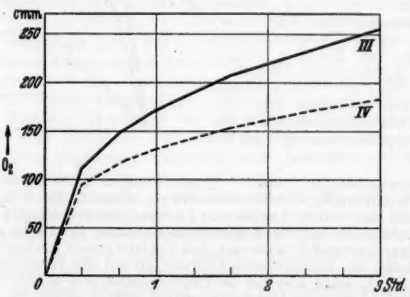

Fig. 2.

Fig. 1 und 2. Sauerstoffaufnahme der Leberextrakte von den Tumorratten (Fig. 1) bei Gegenwart von d-P.A. (Kurve I) und Phosphatpuffer (Leerwert, II) und von den Kontrollratten (Fig. 2) bei Gegenwart von d-P.A. (III) und Phosphatpuffer (IV). Im Hauptraum 2,1 ccm Leberextrakt, entsprechend 0,7—0,8 g Frischleber, in der Birne 1,0 ccm m/2-Phosphat von p_H 8,0 bzw. 10^{-5} Mol d-P.A. in 1,0 ccm m/2 Phosphat von p_H 8,0. Im Ansatz 0,1 ccm 2 n-KOH. p_H des Reaktionsgemisches bei Versuchsbeginn 7,8. Im Gasraum O_2. Schüttelgeschwindigkeit 155 pro Minute, Temperatur 36,4°. Jeweils 2 Parallelansätze. Die durch das d-P.A. bedingte O_2-Aufnahme entspricht der Differenz der Kurven I—II bzw. III—IV.

3mal so hoch war wie bei den Auszügen aus den Lebern der Karzinomtiere. Die Kurven der Fig. 1 und 2 zeigen die Durchschnittswerte aller bisher untersuchten Tiere (19 Tumorratten und 32 Kontrollratten); die Mittelwerte der je 15 Ratten, bei denen, wie oben beschrieben, unbehandelte Geschwistertiere des gleichen Geschlechts als Kontrollen dienten, zeigen ein gleiches Bild. Die Unterschiede im O_2-Verbrauch durch d-P.A. zwischen den Tumorratten und den normalen Tieren sind sowohl für diese 15 Doppelversuche als auch für die Gesamttiere statistisch gesichert: als Mittelwert der O_2-Aufnahme durch d-P.A. für die gesamten Tumortiere nach 3 Stunden bei den angegebenen Versuchsbedingungen ergibt sich[4]) 25,2 ± 9,4 cmm (mittlere Abweichung vom Mittelwert σ_M = 2,909, Fehlerbereich 3,22 σ_M; Überschreitungswahrscheinlichkeit stets ε = 0,0027); für die gesamten Kontrollratten 69,8 ± 17,5 cmm (σ_M = 5,567, Fehlerbereich 3,14 σ_M). Die Berechnung mit Hilfe der t-Formel von Fisher[5]) für die statistische Bedeutung von Mittelwerten zeigt das Entsprechende; es ergibt sich t = 6,062 und damit $P < 0{,}01$ (Bedingung hierfür: $t > 2{,}750$). Auch schon bei den Ablesungen nach 1 Stunde zeigten die Mittelwerte für die Tumor- und Normalratten statistisch gesicherte Unterschiede (14,8 ± 8,0 cmm, σ_M = 2,483; 40,7 ± 12,1 cmm, σ_M = 3,874).

Die O_2-Aufnahme bei Gegenwart von l-P.A. war nur gering, ein statistisch zu sichernder Unterschied zwischen den Tumortieren und den Kontrollen nicht vorhanden. Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren wurden nicht beobachtet. 2 Ratten, bei denen die Tumoren nicht angegangen waren, zeigten normale d-Aminosäureoxydase-Werte; eine Ratte, bei der der Tumor nach 3 Wochen nur 1,4 g wog, hatte ebenfalls normale Werte.

Die Versuche weisen darauf hin, daß im Stoffwechsel des krebskranken Organismus die Fähigkeit zur Oxydation der d-Aminosäuren herabgesetzt ist. Die Frage, ob diese Erscheinung spezifisch für Krebs ist oder auch bei anderen krankhaften Zuständen auftritt, muß geprüft werden[6]).

Berlin, Physiologisch-Chemisches Institut der Militärärztlichen Akademie, den 13. Januar 1942.

Ulrich Westphal.

[1]) Hoppe-Seylers Z. 258, 57 (1939).
[2]) H. A. Krebs, Hoppe-Seylers Z. 217, 191 (1933); 218, 157 (1933). — O. Warburg u. W. Christian, Biochem. Z. 298, 150 (1938).
[3]) Vgl. die demnächst in Hoppe-Seylers Z. erscheinende Arbeit von K. Lang und Ulrich Westphal.
[4]) Vgl. S. Koller, Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. S. 36. Dresden und Leipzig 1940.
[5]) R. A. Fisher, Statistical methods for Research Workers. London 1928.
[6]) Vgl. dazu A. E. Axelrod, H. A. Sober u. C. A. Elvehjem, Nature (London) 144, 670 (1939).

Der γ-Strahl-Übergang des Bromisomers $Br_{80}^{4.5\ Std.}$.

Bei der chemischen Trennung der beiden Bromisomere $Br_{80}^{18\ min}$ und $Br_{80}^{4.5\ Std.}$ lassen sich 85% des gesamten in der Lösung befindlichen 18 min-Körpers im Filtrat abscheiden, während der Rest in der Ausgangslösung bleibt. Da die Trennung auf Grund der Emission des „internal conversion"-Elektrons erfolgen soll, hat man aus diesem Befund gefolgert, daß bei 85 % der zerfallenden Kerne das γ-Quant eine innere Umwandlung erfährt[1]). Nun hat kürzlich Siday[2]) durch direkte Messung in der Wilsonkammer die Zahl der inneren Umwandlungselektronen und der zerfallenden Kerne ermittelt und für den inneren Umwandlungskoeffizienten der K-Schale den Wert 0,43 gefunden. Man muß demnach die obige Deutung der chemischen Versuche fallen lassen und für die Tatsache, daß 85% der umgewandelten Kerne im Niederschlag gefunden werden, während 15 % in der Lösung bleiben, andere Erklärungsmöglichkeiten suchen. Da die Bromisomeren für die Klärung verschiedener mit der biologisch-medizinischen Anwendung künstlich radioaktiver Stoffe zusammenhängender Probleme wichtig sein können[3]), kommt dieser Frage besondere Bedeutung zu.

Frankfurt a. M., Kaiser Wilhelm-Institut für Biophysik, den 20. Januar 1942. Adolf Krebs.

[1]) Vgl. dazu E. Stuhlinger, Naturwiss. 29, 745 (1941).
[2]) R. C. Siday, Proc. roy. Soc. Lond. A 178, 189 (1941).
[3]) O. Blüh, Nature (Lond.) 146, 233 (1940). — G. Goudsmit, Science (N. Y.) 90, 615 (1939).

Über Interferenzen an achsial orientierten mehratomigen Gasmolekülen.

Bei der üblichen Bestimmung der Struktur von beliebig orientierten mehratomigen Gasmolekülen mit Hilfe der Interferenzen von gestreuten Elektronenstrahlen oder Röntgenstrahlen werden bekanntlich die gemessenen Interferenzerscheinungen mit Hilfe einer Funktion der Form

$$\sum_{m,n} f_m f_n \cdot \sin P_{mn}/P_{mn} \quad \text{(Debye)}$$

mit

$$P_{mn} = 4\pi \cdot Q_{mn} \cdot \sin \tfrac{1}{2}\vartheta/\lambda$$

ausgewertet. Hier bedeutet f_m bzw. f_n die Atomformamplitude des $m$ten bzw. $n$ten Atoms des Moleküls, Q_{mn} ist der Abstand zwischen diesen beiden Atomen, ϑ ist der Streuwinkel und λ die verwendete Wellenlänge.

Wird jedoch durch geeignete Mittel die Richtung einer Molekülachse im Raume festgehalten, dann sind Interferenzerscheinungen zu erwarten, die einer Funktion der Form

$$\sum_{m,n} f_m f_n \cdot \cos y \cdot J_0(z)$$

entsprechen, wo

$$y = P_{mn} \cdot \cos \alpha_{mn} \cdot \cos \eta$$

und

$$z = P_{mn} \cdot \sin \alpha_{mn} \cdot \sin \eta$$

ist. Hierin haben f_m, f_n und P_{mn} dieselbe Bedeutung wie oben, während α_{mn} der Winkel zwischen der festgehaltenen Molekülachse und der Verbindungslinie des betreffenden Atompaares ist; η ist durch die Beziehung $\cos \eta = \cos \frac{1}{2}\vartheta \cdot \sin \omega \cdot \cos \gamma - \sin \frac{1}{2}\vartheta \cdot \cos \omega$ gegeben, wo ϑ wieder der Streuwinkel, ω der Winkel der festgehaltenen Molekülachse mit der Primärstrahlrichtung und γ der Winkel zwischen zwei Ebenen durch den Primärstrahl ist, von denen die eine durch die festgehaltene Molekülachse, die andere durch den betrachteten gestreuten Strahl geht.

Da die Besselsche Funktion $J_0(z)$ nur wie $1/\sqrt{z}$ und damit langsamer als die Funktion $\sin x/x$ abklingt, müssen Intensitätsextrema noch bei wesentlich größeren Streuwinkeln als im Falle unorientierter Moleküle nachweisbar sein. Kreissymmetrische Beugungsringe sind nur für $\omega = 0$ möglich, also nur wenn die festgehaltene Molekülachse parallel zur Strahlrichtung liegt; andernfalls treten kompliziertere Interferenzerscheinungen auf, z. B. parallele Streifen, schachbrettähnliche Beugungsbilder u. dgl.

Versuche zum Nachweis entsprechender Interferenzerscheinungen an paramagnetischen Gasen in einem geeigneten Magnetfeld sind beabsichtigt.

Die genauere Darstellung der Theorie erfolgt an anderer Stelle.

Berlin-Charlottenburg, den 20. Januar 1942.

O. Steiner.

Kohlensäureanhydrase und Glutathion.

Kürzlich wurde mitgeteilt[1]), daß die aktivierende Wirkung einer Reihe von Stoffen auf die Kohlensäureanhydrase, über die Leiner[2, 3]) berichtet hatte, nicht bestätigt werden konnte. Später hat Leiner[4]) neue Versuche über den Einfluß von Glutathion, das in unseren Untersuchungen nicht geprüft worden war, beschrieben. Bei manometrischen Messungen der Hydratation von CO_2 mit einer Apparatur, die der von mir benutzten[5]) genau nachgebaut ist, konnte er bei hoher Schüttelgeschwindigkeit, die den Einfluß der

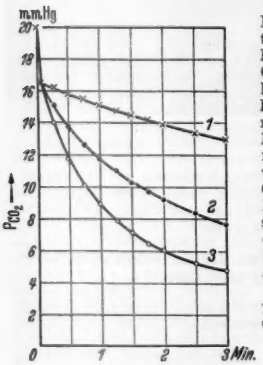

Fig. 1. Der Einfluß von Glutathion auf die Geschwindigkeit der Hydratation von CO_2 durch Kohlensäureanhydrase in 0,1 m Carbonatlösung vom p_H 9,2. Temperatur 0,5°. Kurve 1: ××× Hydratation von CO_2 in 10 ccm 0,1 m Carbonatlösung vom p_H 9,2. Kurve 2 •••: Carbonatlösung wie bei Kurve 1 + 0,5 γ Kohlensäureanhydrase. Kurve 3 ∘∘∘: Carbonatlösung wie bei Kurve 1 + 0,5 γ Kohlensäureanhydrase, + $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ Mol/l Glutathion. Gasraum 77,5 ccm. Schüttelgeschwindigkeit 650 Doppelschwingungen pro Minute.

Diffusion auf die Messung weitgehend ausschaltet, eine Steigerung der katalytischen Wirkung der Kohlensäureanhydrase durch Glutathion nachweisen. Die aktivierende Wirkung des Glutathions betrug nach diesen Messungen nur einen kleinen Bruchteil der früher[2, 3]) behaupteten Steigerung um 600—800 %. In eigenen Messungen über den Einfluß von Glutathion auf die Kohlensäureanhydrase mit der früher beschriebenen Methodik[5, 6]) konnte ich bestätigen, daß die Hydratation von CO_2 durch Kohlensäureanhydrase in Gegenwart von Glutathion schneller verläuft als ohne Glutathion. In 0,04 m Phosphatlösung vom p_H 7,35 nahm die über das Ferment verlaufende Hydratation bei einer Glutathionkonzentration von $0{,}6 \cdot 10^{-4}$ Mol/l um 60 %, bei einer Glutathionkonzentration von $3{,}9 \cdot 10^{-4}$ Mol/l um 80 % zu. Der Einfluß des Glutathion auf die Hydratation durch Kohlensäureanhydrase war auch in alkalischer Lösung vorhanden, vgl. Fig. 1. In Lösungen von Pyrophosphat vom p_H 7,48 war in Übereinstimmung mit Leiner eine Steigerung der Hydratationsgeschwindigkeit durch Glutathion in den genannten Konzentrationen nicht nachzuweisen.

Der fördernde Einfluß des Glutathions auf die Hydratation durch Kohlensäureanhydrase ist also nunmehr durch

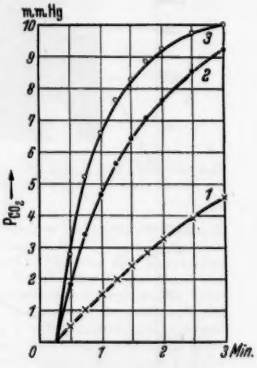

Fig. 2. Der Einfluß von Glutathion auf die Geschwindigkeit der Dehydratation von H_2CO_3 durch Kohlensäureanhydrase in Carbonat-Phosphatlösung. Temperatur 0,1°. Kurve 1 ×××: Dehydratation von H_2CO_3 in einer Mischung aus 5 ccm 0,1 m Carbonat p_H 9,2 und 5 ccm 0,1 m Phosphat p_H 7,2. Kurve 2 •••: Carbonat-Phosphatlösung wie bei Kurve 1 + 0,5 γ Kohlensäureanhydrase. Kurve 3 ∘∘∘: Carbonat-Phosphatlösung wie bei Kurve 1 + 0,5 γ Kohlensäureanhydrase, + $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ Mol/l Glutathion. Gasraum 77,5 ccm. Schüttelgeschwindigkeit 650 Doppelschwingungen pro Minute.

Leiner und durch mich — in quantitativer Hinsicht größenordnungsmäßig übereinstimmend — erkannt. Doch bleibt noch eine andere Angabe von Leiner über den Einfluß des Glutathions auf die Kohlensäureanhydrase der Erörterung wert. Leiner[2, 3]) teilte mit, daß das Glutathion (und andere Stoffe) die Kohlensäureanhydrase nur bei der Hydratation von CO_2, nicht aber bei der Dehydratation von H_2CO_3 aktiviere. Außerdem berichtete er über andere Stoffe, die das Ferment nur bei der Dehydratation von Kohlensäure, nicht aber bei der Hydratation von CO_2 aktivieren sollten. Solche Befunde sind mit den Gesetzen der Thermodynamik nicht vereinbar. Eine so starke Aktivierung der Kohlensäureanhydrase durch Glutathion für nur eine Richtung der Reaktion, wie sie nach Leiners Befunden bestehen soll, müßte zu einer leicht meßbaren Verschiebung des Gleichgewichts zwischen CO_2 und Wasser führen. Möglich wäre die von Leiner behauptete Fähigkeit des Glutathions wohl nur, wenn es nicht als „Aktivator" der Kohlensäureanhydrase fungierte, sondern in irgendwelche Reaktionen einginge, die die für die Verschiebung des Gleichgewichtes nötige Energie liefern.

Eigene Messungen des Einflusses des Glutathions auf die Dehydratation von Kohlensäure durch Kohlensäureanhydrase ergaben aber, daß Glutathion die Geschwindigkeit der Dehydratation von Kohlensäure durch Kohlensäureanhydrase ebenso steigerte wie die Hydratation von CO_2 durch das Ferment (Fig. 2). Die Untersuchungen wurden mit der gleichen Apparatur ausgeführt wie die Messungen der Hydratation von CO_2[5, 6]). Als Reaktionsgefäß diente ein längliches Gefäß, dessen Boden geteilt war zur getrennten Aufnahme von Carbonat und Phosphat[7]). Beim Beginn des heftigen Schüttelns mischten sich die Flüssigkeiten schnell.

Die Frage, inwieweit der Einfluß des Glutathions durch direkte Aktivierung des Ferments oder durch Schaffung eines anderen Substrats (Carbaminsäure) bedingt ist, wird in anderem Zusammenhange erörtert werden.

Nachtrag bei der Korrektur.

Nach der Einsendung des Manuskriptes erschien eine Arbeit von BAKKER[8]), in der ebenfalls berichtet wird, daß die Aktivierung der Kohlensäureanhydrase beide Reaktionsrichtungen in gleichem Maße betrifft. BAKKER weist darauf hin, daß LEINERS[2 3]) abweichende Befunde durch Messung der Hydratation und Dehydratation unter unvergleichbaren Bedingungen bedingt sind. Ferner fand BAKKER auch aktivierende Wirkung von anderen Stoffen, wie Cystein und Histamin, die LEINER[2. 3]) als Aktivatoren beschrieben hat und die in eigenen Untersuchungen[1]) nicht aktivierend gefunden wurden. Offenbar sind die Bedingungen der Aktivierung noch nicht genügend geklärt. SCOTT und MENDIVE[9]) fanden inzwischen eine Aktivierung der Kohlensäureanhydrase durch Histamin von nur etwa 15%. Andererseits beobachteten sie eine starke Aktivierung (Stabilisierung) des Fermentes durch Pepton. Diese Wirkung war um so stärker, je mehr das Ferment gereinigt und damit der Stabilisator entfernt war. Bei Anwesenheit von Pepton steigerte Histamin die Wirkung der Kohlensäureanhydrase nicht.

Berlin, Pharmakologisches Institut der Universität, den 28. Mai 1941. MANFRED KIESE.

[1]) M. KIESE, Naturwiss. 29, 116 (1941).
[2]) M. LEINER, Naturwiss. 28, 316 (1940).
[3]) M. LEINER, u. G. LEINER, Biol. Zbl. 60, 449 (1940).
[4]) M. LEINER u. G. LEINER, Naturwiss. 29, 195 (1941).
[5]) M. KIESE, Biochem. Z. 305, 22 (1940).
[6]) M. KIESE, Biochem. Z. 307, 207, 400 (1941).
[7]) R. BRINKMAN, R. MARGARIA u. F. J. W. ROUGHTON, Phil. Trans. Roy. Soc. London A 232, 65 (1933).
[8]) A. BAKKER, Biol. Zbl. 61, 502 (1941).
[9]) D. A. Scott u. J. R. MENDIVE, J. biol. chem. 140, 445 (1941).

Besprechung.

STUMPF, CARL, **Erkenntnislehre.** Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1939—1940. Bd. 1: XII, 371 S. u. 2 Abbild. Preis brosch. RM 17.20, geb. RM 19.—. Bd. 2: VIII, 501 S. (373—873) u. 6 Abbild. 15 cm × 23 cm. Preis brosch. 18.80, geb. RM 20.80.

„In seinem 80. Lebensjahr, 1927, faßte CARL STUMPF den Vorsatz, in volkstümlicher Form eine Gesamtdarstellung der Philosophie zu geben in der Auffassung, die sich ihm nach den Erfahrungen eines langen Lebens gebildet hatte". So beginnt das Vorwort des Herausgebers, seines Sohnes FELIX STUMPF. Freilich blieb es, wie das Vorwort dann fortfährt, nicht bei der volkstümlichen Form, vielmehr wandte sich der Verf. im Laufe der Arbeit mehr und mehr „an diejenigen, die für tieferliegende Probleme interessiert sind". Die so entstandene „Erkenntnislehre" lag bis auf Kleinigkeiten fertig vor, als der Tod Weihnachten 1936 dem Autor die Feder aus der Hand nahm. Die ebenfalls geplanten Darstellungen der Metaphysik und der Ethik blieben ungeschrieben.

Der Leser muß, glaube ich, für den Wandel, den das Werk allmählich erfuhr, dankbar sein. Denn jetzt liegt vor ihm eine wissenschaftliche Erkenntnislehre, die sich vor allen Werken gleicher Art durch die weitgehende und meist verständnisvolle Berücksichtigung der *neueren* Mathematik und Naturwissenschaften ebenso vorteilhaft auszeichnet, wie durch die immer wiederkehrenden Hinweise auf alle bedeutenderen erkenntnistheoretischen Strömungen des 19. und 20. Jahrhunderts. Auch wer den philosophischen Grundlagen, wie STUMPF sie gibt, nicht so ganz zuzustimmen vermag, wer z. B. die Empfindung nicht los wird, als hätte der Psychologe STUMPF den Erkenntnistheoretiker STUMPF etwas mehr als recht beeinflußt, oder wer eine eigentliche Widerlegung der von STUMPF „an allen Ecken und Enden" angegriffenen KANTschen Lehre vermißt, bekommt aus der Lektüre eine mächtige Anregung, um so mehr, als die manchmal sogar humorvolle Darstellung überall von größter Frische und Lebendigkeit ist. Im übrigen ist diese Besprechung nicht der Ort zur philosophischen Kritik des Werkes. Sie soll nur über den Inhalt berichten und einige spezifisch physikalische Punkte hervorheben.

Als Ausgangspunkt dieser — wie jeder vernünftigen — Erkenntnislehre dient eine gründliche Absage an jenen Skeptizismus, welcher die Möglichkeit der Erkenntnis überhaupt in Zweifel zieht. Angesichts der kulturumwälzenden Erfolge gerade der Naturwissenschaft, deren Eindruck sich schlechthin niemand entziehen kann, weil sie keines Menschen Dasein unberührt lassen, lautet die Frage nicht, *ob*, sondern *wie* Wissenschaft möglich ist. Und darin, daß das Faktum der Wissenschaft nur durch das Hineinspielen aprioirischer, erfahrungsunabhängiger Erkenntnisse zu verstehen ist, stimmt STUMPF mit KANT durchaus überein. Derselbe Gedanke kehrt später (S. 588) wieder bei der Abrechnung mit jenem BERKELEYschen Phänomenalismus, welcher Objekten Wirklichkeit nur dann zubilligt, wenn sie gerade beobachtet werden. Man suche einmal — das ist etwa der Sinn der einschlägigen Ausführungen — damit physikalische Gesetze zu formulieren! Oder hat etwa der Astronom GALLE dem Planeten Neptun dadurch zur Wirklichkeit verholfen, daß er ihn nach den Ortsberechnungen von LEVERRIER und ADAMS tatsächlich beobachtete?

Die Einteilung des Buches besteht in einem kurzen Abschnitt von 112 Seiten über die Grundbegriffe (Kategorien). Es folgt als Hauptstück der zweite Abschnitt: „Die Wege des Erkennens" mit 450 und der dritte „Naturphilosophische Probleme" mit rund 300 Seiten. Die Teilung in 2 Bände ist nur eine äußerliche. Unter den Grundbegriffen werden abgehandelt „Ding oder Substanz", „Ursächlichkeit", „Notwendigkeit und Möglichkeit", „Wirklichkeit", „Gleichheit", und „Zahl". Wirklich z. B. ist, was zu wirken vermag; dadurch unterscheidet sich die reale Außenwelt von den Träumen. Als vermutlich neu und jedenfalls bemerkenswert möchten wir die Definition der „Wahrheit" hervorheben. Wahr sind immer nur Urteile; deren Qualität ist Bejahung oder Verneinung. „Wahrheit ist das Angepaßtsein der Qualität an die Materie des Urteils".

Abschnitt II gliedert sich in „Unmittelbare" und „Mittelbare Erkenntnis". Er unterscheidet bei der ersteren unmittelbare Vernunft- und unmittelbare Erfahrungserkenntnis. Zu jener gehören die „Universalaxiome" (logischen Axiome), gültig für jeden beliebigen Gegenstand, aber auch die nur für bestimmte Gebiete gültigen „regionalen" Axiome. Gerade auf diese, bisher in der Philosophie etwas stiefmütterlich behandelten, Axiome legt STUMPF besonderes Gewicht; in sie verlegt er die Wurzeln weittragender Einsichten. Für die unmittelbare Erfahrungserkenntnis kommen sowohl die äußere (Sinnes-)Wahrnehmung in Betracht als auch die innere (Bemerken der psychischen Funktionen). Dies führt zur Erörterung der Gestaltspsychologie, der Fragen des eigenen Seelenlebens und der Einfühlung in fremdes Seelenleben.

Die Einteilung der mittelbaren Erkenntnis ist in „deduktive" und „induktive" Schlüsse. Dazwischen steht ein Abschnitt über die Hypothesen und ihre naturwissenschaftliche Bedeutung. Es ist ein Grundgedanke des Werks, und wohl ein richtiger, die induktive Schluß-

weise in Analogie zum BAYESschen Satze der Wahrscheinlichkeitstheorie, der Regel von der Hypothesenbewertung, zu setzen — wenngleich, wie der Verf. selbst betont, Zahlenangaben über die Wahrscheinlichkeit induktiv erschlossener Gesetzmäßigkeiten nie ohne Willkür möglich sind. Zur Vorbereitung dazu beschäftigen sich über 100 Seiten mit der mathematischen Wahrscheinlichkeitslehre, welche an einfachen und meist wohlbekannten Beispielen, aber nicht ohne häufigen Hinweis auf die Darstellung moderner Mathematiker, abgehandelt wird.

Eine Hypothese, damit beginnt Abschnitt III, ist auch die Realität der Außenwelt, aber freilich eine Hypothese von solcher Wahrscheinlichkeit, daß man unbedenklich von Sicherheit reden kann. Die Theorie des Raums, in welchem ja die Außenwelt liegt, bringt § 26, der unter anderem auch von den nichteuklidischen Geometrien handelt. § 27 bringt die Theorie der Zeit, worauf § 28 mit der Theorie des Bewegungsbegriffs folgt. Hier geschieht der Relativität von Ort, Zeit, Bewegung Erwähnung. Die 5 letzten Paragraphen aber betreffen die Kausalität mit dem ganzen damit verknüpften Fragenkomplex, z. B. auch mit der Kausalität der Biologie und mit dem Problem der Willensfreiheit.

Einigen Einspruch müssen wir wohl gegen den Absatz von den geometrischen Wahrscheinlichkeiten erheben. Dem fehlt der entscheidende Gesichtspunkt, daß man hier, bei einem Kontinuum, weder mögliche noch günstige Fälle abzählen kann, daher zur eindeutigen mathematischen Stellung der Aufgabe eine Wahrscheinlichkeitsfunktion angeben muß. Bei physikalischen Problemen wird man dies an der Hand physikalischer Betrachtungen tun müssen und meist nicht ganz ohne Hypothesenbildung auskommen. Ohne Kenntnis einer solchen Funktion bleibt jede solche Aufgabe vieldeutig; die Paradoxa, welche das Buch anführt, beruhen alle auf dem Mangel einer definierten Wahrscheinlichkeitsfunktion.

Da ist z. B. die Frage: „Wie verhalten sich die Wahrscheinlichkeiten, daß eine im Kreise gezogene Sehne kleiner oder größer ausfällt als die Seite des dem Kreise eingeschriebenen gleichseitigen Dreiecks? Das Buch gibt zwei Lösungen: die eine gibt dem Fall, daß die Sehne kleiner ist, die Wahrscheinlichkeit $^1/_2$, die andere $^3/_4$. Man könnte aber auch jeden beliebigen anderen Wert dafür errechnen; jeder Lösung liegt nämlich implizite eine andere Annahme über die Wahrscheinlichkeit zugrunde, daß die Sehnenlängen zwischen x und $x + dx$ liegt.

Da ist ferner das Paradoxon: „Es sei uns bekannt, daß das spezifische Volumen eines Körpers zwischen 1 und 3 liegt; wir wissen aber nicht im geringsten, an welcher Stelle dieses Spielraums, dessen Mitte 2 ist. Es ist daher nach dem Indifferenzprinzip gleich wahrscheinlich, daß es zwischen 1 und 2 und daß es zwischen 2 und 3 liegt". Bezieht man dieselbe Frage aber auf die spezifischen Gewichte, folglich auf das Intervall von $1-{}^1/_3$, so ergibt sich hingegen, so fährt das Buch fort, daß der Indifferenzpunkt beim spezifischen Gewicht $^2/_3$ liegt, welches dem spezifischen Volumen $^3/_2$ entspricht, also ein Widerspruch gegen die erste Feststellung. Auch hier liegt die Schuld an unvollständiger Fragestellung. Um sie vernünftig zu vervollständigen, muß man die Häufigkeit $f(x)\,dx$ angeben, mit der in der für uns erreichbaren Erdrinde Stoffe mit spezifischen Gewichten zwischen x und $x + dx$ vorkommen. Erst danach ist eine eindeutige und brauchbare Antwort möglich. Das wird am auffälligsten, wenn man als Grenzen für das spezifische Gewicht nicht die obigen, sondern etwa 20 und 30 wählt. Da wir nämlich keinen Stoff kennen, dessen spezifisches Gewicht über 22 liegt, wird man nicht 25 als Indifferenzpunkt angeben können.

Was hier fehlt, ist im Grunde die von dem genialen Mathematiker BERNHARD RIEMANN so klar ausgesprochene Einsicht, daß dem Kontinuum an sich jede Maßbestimmung fehlt, daß man sie infolgedessen, wenn man eine anwenden will, anderswo herholen und dem Kontinuum aufprägen muß. In die Fachphilosophie scheint diese Einsicht freilich überhaupt noch nicht eingedrungen zu sein; sonst hätte sie die philosophische Lehre von der Geometrie und der Zeitmessung wohl etwas beeinflußt.

Mehrmals nimmt das Buch zur Relativitätstheorie Stellung. Hocherfreulich ist die entschiedene Ablehnung jener so laut verkündeten Übertreibung, daß ihr zufolge Raum und Zeit mehr oder minder ein und dasselbe würden. Zur Widerlegung genügt in der Tat der Hinweis STUMPFS auf die 4-dimensionale Maßbestimmung

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2 t^2 = s^2 ,$$

in welcher das Minuszeichen doch deutlich genug auf die Sonderrolle der Zeit hinweist (S. 638). Im übrigen mögen hier ein paar Sätze wörtlich wiedergegeben sein: „Seit dem Bekanntwerden der Relativitätstheorie ist unter Philosophen und Physikern immer wieder darüber gestritten worden, welche Geschwindigkeit, welche Bewegungsdauer, welche Länge einem bewegten Körper in *Wirklichkeit* zukomme. Der Phänomenalist lehnt die Frage ab, von seinem Standpunkt aus mit Recht, da es für ihn keine Wirklichkeit hinter den Erscheinungen gibt. Die Frage hat nur Sinn und Bedeutung für den Realisten. Dieser wird zugeben müssen, daß *prinzipiell* jedes Bezugssystem und damit jede quantitative Bestimmung jener Größen mit jeder anderen gleichberechtigt ist, wird aber hinzufügen, daß sie alle nur Ausdrücke einer und derselben objektiven Geschwindigkeit, Dauer, Länge sind. Ein Verzicht auf objektive Erkenntnis ist dies nicht, sondern nur die Forderung der Namhaftmachung des jeweiligen Bezugssystems. Ist diese Bedingung erfüllt, so hat die Aussage in dieser Form Anspruch auf objektive Gültigkeit".

Auch der Relativität des Begriffs „Gleichzeitig" stimmt das Buch durchaus zu. Hingegen vermag es sich nicht zur Anerkennung des elektromagnetischen Feldes im leeren Raum als einer für sich bestehenden Substanz durchzuringen — was doch dem Physiker als unvermeidliche Konsequenz der Relativitätstheorie erscheint.

Im Gegensatz zur Relativitätstheorie spielt die neuere Quantentheorie mit ihren Ungenauigkeitsrelationen usw. in diesem Buche nur eine geringere Rolle. Die eigentliche Auseinandersetzung mit ihr (S. 750—758) endigt mit einem non liquet. Nach der persönlichen Ansicht des Ref. ist das keineswegs ein Mangel; so wichtig jene Teile der theoretischen Physik für diese Wissenschaft auch schon geworden sind, sie sind doch wohl noch etwas zu jung, um als tragende Pfeiler in die Erkenntnistheorie eingebaut zu werden.

Alles in allem ist das Buch hervorragend geeignet, Naturwissenschaftler aller Disziplinen, welche für den Zusammenhang ihres Spezialgebietes mit Philosophie Sinn haben, zu erneutem Nachdenken anzuregen. Es sucht die Philosophie so recht in den Mittelpunkt allen wissenschaftlichen Strebens zu stellen. Daß sie diese Stellung, die man ihr zur Zeit wohl nicht allgemein zubilligt, wieder erringt, das erscheint aber dem Ref. als eine Kulturfrage allerersten Ranges.

M. v. LAUE.

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: FRITZ SÜPFERT, Berlin W 9.
Springer-Verlag in Berlin W 9. — Druck der Spamer A.-G. in Leipzig.